

I. *Ueber die elektrischen Ströme höherer Ordnung;
von Peter Rieffs¹⁾.*

Wie der Schließungsdraht der elektrischen Batterie in einem ihm nahegelegten Drahte einen Strom erregt, so erregt der Schließungsbogen dieses Stromes in einem nahen Drahte einen zweiten Strom, dieser unter gleicher Bedingung einen dritten Strom und so fort. Alle diese durch Induction entstandenen Ströme treten mit dem Entladungsstrom zugleich auf und werden *Nebenströme* oder *Ströme höherer Ordnung* genannt. Der Entladungsstrom der Batterie wird als Strom erster Ordnung oder gebräuchlicher als Hauptstrom bezeichnet; er erregt den Strom zweiter Ordnung (vorzugsweise Nebenstrom oder secundärer Strom genannt) dieser den Strom dritter Ordnung (tertiärer Strom) dieser den Strom vierter Ordnung und so fort. Die höhere Wichtigkeit, die dem Hauptstrome zugestanden wird, ist ein Grund, auch die andern Ströme einer genauen Untersuchung zu unterwerfen. In gleicher Art nämlich, wie bei Versuchen mit statischer Elektrizität die Influenz, tritt bei Versuchen über den Entladungsstrom die Induction überall ungerufen auf und ändert die Wirkungen des Hauptstromes. Sollen diese Wirkungen rein erhalten werden, so muß man die Ströme, die zu vermeiden nicht möglich ist, möglichst schwach erhalten und ihren Einfluß berücksichtigen. Hierzu wird eine Kenntniß der Eigenschaften dieser Ströme erfordert; aber diese ist, obgleich schon 12 Jahre seit ihrer Entdeckung verflossen sind, noch sehr unvollkommen und, was schlimmer ist, es ist Manches

1) Mitgetheilt in der Gesamtsitzung d. Acad. d. Wiss. den 15. Mai 1851.

völlig unerwiesen unter dem Wenigen, das über den Gegenstand veröffentlicht worden ist. Dieser Uebelstand hat einen zufälligen und einen wesentlichen Grund. Dafs der Nebenstrom und seine Begleiter entdeckt wurden bei der Magnetisirung von Stahladeln durch den Hauptstrom, konnte keinen Grund abgeben für das, was wirklich geschah, dafs nämlich von mehreren Beobachtern die Magnetisirung von Nadeln zur Erkennung der Eigenschaften jener Ströme benutzt wurde. Ein Nebenstrom sey so oder so gerichtet, er besitze eine gröfsere oder geringere Stärke, wurde daraus entnommen, dafs eine durch ihn magnetisirte Nadel den Nordpol an einem oder dem andern Ende, einen gröfseren oder kleineren Grad von Magnetismus erhalten hatte. Welchen Werth ein solcher Schluss hat, ist seit langer Zeit bekannt. Es wird Keinem einfallen, Richtung und Stärke des Hauptstromes an einer durch ihn magnetisirten Nadel erkennen zu wollen, weil man weifs, dafs dann zum Beispiel der Fall eintreten kann, eine Batterie mit geringer Menge negativer Elektricität geladen annehmen zu müssen, die der Beobachter so eben mit einer grofsen Menge positiver Elektricität geladen hat. Hier lehrt der Augenschein das Widersinnige des Schlusses, aber der Schluss ist nicht minder widersinnig und mit dem Geschlossenen zurückzuweisen in Fällen, wo der Augenschein fehlt, wie bei den Nebenströmen. Eigenschaften dieser Ströme, die aus magnetisirten Nadeln geschlossen worden, müssen als nicht vorhanden betrachtet werden, so lange sie nicht in anderer Weise dargelegt worden sind. In dieser Beziehung ist die Unkenntnifs, in der wir uns über die Nebenströme befinden, von den Bearbeitern des Gegenstandes verschuldet, aber leider liegt in den Nebenströmen selbst ein Hindernifs, sie mit derselben Genauigkeit, wie den Hauptstrom, kennen zu lernen. Die Stärke eines elektrischen Stromes ist an zwei wesentlich verschiedene Bedingungen geknüpft, an die elektrische Erregung und die Fortleitung der Elektricität; die Untersuchung dieser Abhängigkeit des Stromes setzt die Möglichkeit voraus, jede der Bedingungen constant

zu erhalten, während die andere verändert wird. So ist bei Untersuchung des Hauptstromes die Ladung der Batterie constant gehalten worden, während der Schließungsbogen verändert wurde, und umgekehrt. Dieß ist bei den Nebenströmen nicht möglich. Die Erregung jedes Stromes wird von dem Strome der zunächst niederen Ordnung geleistet, zwischen beiden Strömen findet aber eine solche Verknüpfung statt, daß jede Aenderung eines Stromes auch die des andern nach sich zieht. Der erregte Strom wirkt auf den erregenden zurück und zwar in einer so verwickelten Weise, daß für scheinbar gleichartige Fälle nicht einmal der Sinn der Rückwirkung derselbe bleibt. So schwächt die successive Verlängerung einer Nebenschließung den darin fließenden Strom fortwährend, aber der erregende Strom wird dadurch nur bis zu einer Gränze geschwächt, über die hinaus eine Verstärkung des Stromes eintritt. Da die Gränze nun je nach den angewandten Schließungsbogen eine andere wird, so erhalten die Messungen der Stärke eines Nebenstromes stets einen sehr speciellen Charakter und allgemein gültige Gesetze lassen sich aus ihnen nur mit großer Vorsicht ableiten. Nicht günstiger stellt sich bei den Nebenströmen die Untersuchung ihrer Richtung, die bei anderen Strömen mit keiner Schwierigkeit verbunden ist. Hier ist es eine den Nebenstrom stets begleitende Erscheinung, die Seitenentladung, welche die directen Versuche über die Richtung der Nebenströme verwirrt, so daß bis jetzt darüber nur zweifelhafte und sich paarweise widersprechende Angaben vorhanden sind.

Die bisherigen Arbeiten über die Nebenströme finden sich im 6. Bande des Repertorium für Physik S. 206 ff. von mir zusammengestellt. Ich habe in dem Folgenden meine Untersuchungen, die nur den Strom zweiter Ordnung betrafen¹⁾ fortgesetzt und erweitert. Zum besseren Verständnisse scheint es förderlich, hier zu wiederholen, was ich über die Bestimmung eines elektrischen Stromes

1) Pogg. Ann. Bd. 47, S. 55. Bd. 49, S. 393. Bd. 50, S. 1. Bd. 51. S. 177. 351.

angenommen habe. Der elektrische Strom ist thatsächlich abhängig von der Elektricitätsmenge in der Batterie, ihrer mittleren elektrischen Dichtigkeit und der Beschaffenheit des Schließungsbogens. Theoretisch zieht man zwei Bedingungen des Stromes in Betracht, die Menge der in Bewegung gesetzten Elektricität und die Dauer der Bewegung, die Entladungszeit des Stromes. Die Stärke des Stromes wird dem Quadrate der Elektricitätsmenge direct, der Entladungszeit umgekehrt proportional gesetzt. Die so bestimmte Function der Bedingungen des Stromes mißt nämlich eine seiner Wirkungen, die Erwärmung, die er in einem constanten Stücke des Schließungsbogens hervorbringt. Die Erwärmung ist leicht zu bestimmen und ebenso die Elektricitätsmenge, die zum Strome verwendet wird; es läßt sich daher auch die Abhängigkeit der Entladungszeit, ohne daß diese direct gemessen wird, von den empirischen Daten des Versuchs angeben. Man bezeichne mit q die Elektricitätsmenge des Stromes, die bei vollem Schließungsbogen der Elektricitätsmenge in der Batterie proportional ist, mit y ihre mittlere Dichtigkeit und mit V den Verzögerungswerth des veränderlichen Theils des Schließungsbogens, der für einen continuirlichen cylindrischen Draht erhalten wird, wenn man die Länge des Drahts in eine für sein Metall geltende Constante multiplicirt und durch das Quadrat seines Halbmessers dividirt. Die Stärke des elektrischen Stroms, oder, was dasselbe ist, die in einem constanten Stücke des Schließungsbogens erregte Wärme, hat den Ausdruck $\Theta = \frac{aq^2}{(1+bV)\frac{q}{y}}$ in welchem a und b Constanten bezeichnen und der Nenner ein Maass der Entladungszeit des Stromes abgibt. Die mittlere elektrische Dichtigkeit y kann auf verschiedene Weise bestimmt werden, am leichtesten dadurch, daß man die Oberfläche der Batterie ausmißt und die Elektricitätsmenge durch die Oberfläche dividirt. Bei Batteriefaschen von gleicher Gröfse ist, wenn s die Zahl der Flaschen bedeutet $y = \frac{q}{s}$. Hiermit wird

der Ausdruck des Stromes $\Theta = \frac{aq^2}{(1+bV)s}$. Für Versuche, in welchen der Leiter des Stromes (Schließungsbogen der Batterie), unverändert bleibt, hat man $\Theta = aqy = \frac{aq^2}{s}$.

Bei der Anwendung dieser Ausdrücke auf die Ströme höherer Ordnung ist zu merken, daß weder die Elektricitätsmenge q noch ihre mittlere Dichtigkeit y gemessen werden kann, und geschlossen wird aus der Vergleichung der Erwärmungen im Hauptbogen mit denen im Nebenbogen.

Der Nebenstrom (secundäre Strom).

§. 1.

Apparat. Zur Erzeugung kräftiger Nebenströme ist es nöthig, zwei lange Drähte einander parallel und möglichst nahe auszuspannen. Die Unbequemlichkeit, wenn dies mit geraden Drähten geschieht, wird vermieden, indem man die Drähte zu Spiralen aufwindet, wobei noch der Vortheil erreicht wird, daß jedes Stück des einen Drahtes auf mehrere Stücke des andern Drahtes wirkt. Man kann zu diesem Zwecke sowohl ebene als cylindrische Spiralen anwenden. Ebene, auf Holzscheiben befestigte, Spiralen, die vertical gestellt einander parallel genähert werden können, habe ich unter der Bezeichnung *Inductionsscheiben* früher beschrieben'). Die im Folgenden gebrauchten großen Inductionsscheiben haben einen Durchmesser von 1 Fuß und enthalten 53 par. Fuß eines $\frac{3}{8}$ Linien dicken Kupferdrahtes in 31 Umgängen, der Zwischenraum zwischen zwei Windungen beträgt im Mittel 1,2 Linien im Lichten. Die kleineren Inductionsscheiben haben einen Durchmesser von 6 Zoll und enthalten 13 Fuß Kupferdraht von 0,58 Linie Dicke in 14 Windungen. Der Zwischenraum zwischen zwei Windungen beträgt im Mittel 1,6 Linien; die Enden des Drahtes liegen in der Mitte und am Rande jeder Scheibe.

Leichter anzufertigen und zu vielen Versuchen nicht weniger brauchbar als die ebenen, sind die cylindrischen Spiralen. Um den mit Siegellack bekleideten Mantel eines

1) Repertorium der Physik Bd. 6, S. 312.

Holzcyllinders von 6 Zoll 4 Linien Durchmesser, 9 Zoll Höhe wurden zwei Längen eines $\frac{5}{8}$ Linien dicken Kupferdrahtes, jede 53 Fufs messend, nebeneinander in 64 Windungen gelegt, so dafs zwischen je zwei Windungen ein Zwischenraum von 1 Linie frei blieb. Jede der beiden Spiralen macht demnach 32 Umgänge und hat eine Ganghöhe von 2,63 Linien. Die Enden jeder Spirale sind an der obern und untern Fläche des vertical gestellten Cylinders festgelegt. Diese Vorrichtung, die *Inductionscylinder* heissen mag, zeigt also zwei einander parallel liegende cylindrische Drahtspiralen, die in der unveränderlichen Entfernung von 1 Linie auf einander wirken. Sowohl bei diesen als den früher angegebenen Spiralen wird die eine Spirale in den Schliessungsbogen der Batterie eingeschaltet, und *Hauptspirale* genannt, die zweite, ihr nahestehende, Spirale durch eine Drahtverbindung geschlossen und als *Nebenspirale* bezeichnet. Allgemein nennt man jede Spirale, die einen Strom erregt, Hauptspirale, jede in welcher ein Strom erregt wird, Nebenspirale. Um die Wirkung der grossen Scheiben mit der des Cylinders zu vergleichen, wurden die ersten 1 Linie von einander entfernt, so dafs in beiden Vorrichtungen Drähte gleicher Länge aus gleicher Entfernung auf einander wirkten. Eine Spirale von jedem Apparate wurde in den Schliessungsbogen der Batterie eingeschaltet, der daher hinter einander zwei Hauptspiralen enthielt, und eine der beiden Nebenspiralen durch Kupferdrähte mit dem Platindrahte eines elektrischen Thermometers verbunden. In jeder Versuchsreihe wurde das Thermometer 12 Mal beobachtet, indess die Batterie von verschiedener Flaschenzahl (jede Flasche 2,6 Quadr. Fufs Belegung) und mit verschiedener Elektricitätsmenge (Funke der Maassflasche $\frac{1}{2}$ Linie) durch die beiden Hauptspiralen entladen wurde. Der Mittelwerth von a aus 12 Werthen der Formel $\theta = \frac{a q^2}{s}$ berechnet, giebt die Erwärmung für Einheit der Ladung und dient zum Maasse des Nebenstromes. Es wurde gefunden

Stärke des Nebenstromes bei den Inductionsscheiben 0,80
 „ „ „ „ „ dem Inductionscylinder 0,78
 so dafs die Wirkung des Cylinders nur wenig schwächer
 als die der Scheiben war. Zum leichteren Verständnifs der
 Versuche werde ich ihrer Beschreibung schematische Figu-
 ren beigeben, in welchen jede Spirale durch eine gerade
 Linie, das Thermometer durch einen Kreis bezeichnet ist.
 Die Hauptspirale erhält die Pfeilform, in welcher die Rich-
 tung des Pfeils die des Hauptstroms angiebt, so dafs, da
 die Batterie stets mit positiver Elektricität geladen wurde,
 die Pfeilspitze nach der äufseren Belegung hinweist.

§. 2.

Stromstärke nach der Länge des erregten Drahtes. Als
 in einem früher von mir angestellten Versuche von einem
 spiralförmigen 12 Fufs langen Nebendrahte, dessen Enden
 durch das Thermometer geschlossen waren, eine verschie-
 dene Anzahl von Windungen der Wirkung des gleichfalls
 spiralförmigen Hauptdrahtes ausgesetzt wurde, verhielten
 sich die Erwärmungen im Thermometer nahe wie die An-
 zahl der erregten Windungen¹⁾. Es wurde hieraus ge-
 schlossen, dafs unter sonst gleichen Bedingungen der se-
 cundäre Strom proportional der erregten Länge des Neben-
 drahtes sey. Dieser Satz ist indess nur annähernd richtig,
 wie sich schon theoretisch vermuthen liefs. Die Rückwir-
 kung des Nebenstromes auf den Hauptstrom ist nämlich
 desto stärker, ein je längerer Theil der Nebenschließung
 auf den Hauptdraht wirkt²⁾. Bringt man die Länge 2 ei-
 ner unveränderlichen Nebenschließung dem Hauptdrahte
 nahe, so ist der Hauptstrom schwächer, als wenn nur die
 Länge 1 auf den Hauptdraht wirkt. Da sich nun anneh-
 men läfst, dafs jedes Stück des Nebendrahtes in gleicher
 Stärke von dem Hauptstrome erregt wird, so folgt, dafs
 weil die doppelte Länge des Nebendrahtes von einem
 schwächeren Hauptstrom erregt wird, als die einfache, auch

1) Pogg. Ann. Bd. 47, S. 72.

2) Pogg. Ann. Bd. 51, S. 188.

der Nebenstrom weniger als doppelt so groß seyn werde. Diese Folgerung wurde durch den Versuch bestätigt. Ich hatte zwei große Inductionsscheiben (§. 1.) in den Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet, welchen die dazu gehörigen Scheiben bis 2 Linien nahe gestellt werden konnten. Die beiden Hauptspiralen waren in eben der Weise mit einander verbunden, wie die beiden Nebenspiralen (Mitte der ersten Spirale mit dem Rande der zweiten) letztere durch Drähte mit dem Thermometer in Verbindung gesetzt. Es wurde zuerst die eine Nebenspirale in Wirksamkeit gesetzt, während die zweite von ihrer Hauptspirale entfernt blieb (Fig. 1. Taf. II.). Alsdann brachte ich die zweite Nebenspirale allein zur Wirkung und zuletzt beide Nebenspiralen (Fig. 2.). Es wurden die folgenden Erwärmungen beobachtet.

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung durch		
		d. erste Spirale.	d. zweite.	beide Spiralen.
3	8	10,8	10,1	18,2
	10	16	15	27,3
	12	21,1	21,5	38,3
4	8	7,7	7,7	13,8
	10	11,4	11,8	21,0
	12	16,2	16,5	30,5
Einheit der Ladung		0,47	0,46	0,84.

§. 3.

Die beiden ersten Beobachtungsreihen rühren von der einzelnen Wirkung zweier Längen des Schließungsbogens der Batterie her, die in der dritten Reihe zusammenwirken. Man sieht, daß der Werth des secundären Stromes in der dritten Reihe merklich kleiner ist als die Summe der Werthe der beiden ersten Reihen. Diefß würde auch der Fall seyn, wenn die beiden Stücke des Hauptdrahtes, die auf den Nebendraht wirken, dicht neben einander lägen. Man kann sich daher jede Länge des Hauptdrahtes, die einen Nebenstrom erregt, in zwei Stücke getheilt denken und wird die Wirkung der ganzen Länge geringer finden, als die Summe

der Wirkungen der beiden Stücke. Daraus folgt, daß die Stärke des Nebenstromes in einem geringeren Verhältnisse zunimmt, als die Länge des wirkenden Hauptdrahtes. Eine nähere Bestimmung dieses Verhältnisses ist im Allgemeinen nicht zu geben, weil die Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom abhängt von der Beschaffenheit der Nebenschließung in Bezug zu der Hauptschließung. Es ist für sich klar, daß die im Nebendrahte erregte Elektrizitätsmenge proportional der Länge des wirkenden Hauptdrahtes seyn müsse und die Dichtigkeit dieser Elektrizität unabhängig von der Länge. Würden also nur diese Bedingungen den Nebenstrom bestimmen, so würde, weil Haupt- und Nebenschließung unverändert bleiben, der Nebenstrom nach der Formel $\Theta = aqy$ proportional der Länge des wirkenden Hauptdrahtes seyn. Daraus, daß dies nicht der Fall ist, ist zu entnehmen, daß die Stärke des Nebenstromes von der Entladungszeit des Hauptstromes abhängt, die eben durch Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom verändert worden. Dies läßt sich durch den Versuch in schlagender Weise zeigen.

§. 4.

Aenderung des Nebenstromes durch Rückwirkung des Nebendrahtes auf den Hauptdraht. Der Schließungsbogen der Batterie enthielt wie in §. 2. zwei Hauptspiralen, denen ihre Nebenspiralen in 2 Linien Entfernung gegenüberstanden. Nach meinen früheren Versuchen würde der Hauptstrom denselben Werth besitzen bei offenstehenden Nebenspiralen und bei ihrer Schließung durch kurze Kupferdrähte. Schließt man hingegen eine der beiden Nebenspiralen durch steigende Längen eines dünnen Platindrathes, so nimmt der Hauptstrom ab, erreicht einen geringsten Werth und nimmt dann wieder zu. Die Dauer des Hauptstromes wird also dadurch, daß die Partialentladungen eines Nebenstromes in seine eigenen Partialentladungen länger und länger eingreifen, nur bis zu einer bestimmten GröÙe verlängert, wovon ich früher den Grund anzugeben ver-

sucht habe'). Es wurde nun versucht, den Hauptstrom unter diesen Bedingungen einen gesonderten Nebenstrom erregen zu lassen. Die erste Nebenspirale (Fig. 3.) wurde durch kurze Kupferdrähte und den Platindraht des Thermometers geschlossen, die Enden der zweiten Nebenspirale durch einen Kupferdraht (0,31 Lin. Radius) oder durch verschiedene Längen eines Platindrahts von 0,028 Lin. Radius mit einander verbunden. Die folgende Tafel giebt die Stärke des Nebenstromes der ersten Spirale, für jede Einschaltung in die zweite Spirale aus drei Beobachtungen des Thermometers berechnet. Die Stromstärke, während die zweite Nebenspirale offen blieb, ist 0,51 gefunden und hier 100 gesetzt worden.

Schließung der zweiten Spirale:

Kupfer 16 Zoll. Platin 1,98 Fufs. 5,95 17,9 37,6 97,2

Nebenstrom in der ersten Spirale:

100 75 53 35 37 51.

Bei Schließung der zweiten Nebenspirale durch den kurzen Kupferdraht ist der Nebenstrom der ersten Spirale ebenso stark, als ob die Schließung nicht vorhanden wäre; bei allmählig zunehmendem Verzögerungswerth der Schließung nimmt der Strom zuerst ab und später wieder zu, so daß z. B. nahe dieselbe Stromstärke erhalten wurde, wenn die Nebenspirale durch 6 oder durch 97 Fufs des dünnen Platindrahts geschlossen war. Der Nebenstrom befolgt also bei Schließung einer zweiten Nebenspirale durch steigende Längen eines Drahtes denselben Gang, der unter diesen Bedingungen an dem Hauptstrome beobachtet worden ist.

§. 5.

Der Nebenstrom ist hier geprüft worden in einer unveränderten Nebenschließung; setzt man zu dieser Drähte verschiedener Länge hinzu, so wird dadurch eine zwiefache Aenderung des Nebenstromes erfolgen, die eine, so eben betrachtete, durch den geänderten Hauptstrom, die zweite

1) Pogg. Ann. Bd. 51, S. 182.

durch Aenderung des Verzögerungswerthes der Nebenschließung. Die zweite Aenderung ist durch den zugesetzten Draht bestimmt. Die im vorigen Paragraph angewandten Drähte werden den Nebenstrom, der durch sie hindurch geht, nach der in der Einleitung gegebenen Formel schwächen, im Verhältnisse ihrer Verzögerungswerthe, die hier direct ihren Längen proportional sind. Nicht so die erste Aenderung, die selbst ihrem Sinne nach (ob stärkend oder schwächend) für einen und denselben Draht variirt nach der Zusammensetzung der Haupt- und Nebenschließung. Da die beiden Aenderungen den am Thermometer beobachteten Nebenstrom zugleich treffen, so kann es kommen, daß bei einigen Versuchen ein Draht einen Einfluß auf den Nebenstrom äußert, der sich gesetzmäßig der Formel anschließt, die den Verzögerungswerth berücksichtigt, während der Draht bei andern Versuchen sich weit davon entfernt. Um ein Beispiel davon zu geben, hätten wir in den Versuchen des §. 4. den Nebenstrom der zweiten Spirale gemessen, so würden wir bei der Einschaltung von 6 und 97 Fufs Platindraht den Strom nach Maafsgabe der Formel geschwächt gefunden haben, bei der Einschaltung von 18 und 38 Fufs in einem höhern Maafse.* Die Tabelle zeigt nämlich, daß die beiden ersten Längen den Nebenstrom durch Rückwirkung zu gleicher Stärke gebracht, die beiden letzten Längen ihn aber noch bedeutend geschwächt haben. Bei anderer Zusammensetzung der Haupt- und Nebenschließung werden es andere Drahtlängen seyn, die den Nebenstrom durch Rückwirkung auf gleichen Werth bringen und sich daher der Formel für die Einschaltungen anschließen.

§. 6.

Wirkung zweier Nebenströme auf einander. Die mittelbare Wirkung eines Nebenstromes auf einen andern ist §. 4. aufgezeigt worden, wo ein von einer Stelle des Hauptbogens erregter Nebenstrom dadurch verändert wurde, daß ein von einer entfernten Stelle erregter Strom auf den

Hauptstrom wirkte. Man kann aber auch zwei Nebenströme unmittelbar auf einander wirken lassen, indem man sie von einer und derselben Stelle des Hauptbogens erregen läßt. Der Versuch ist häufig und zuweilen so ange stellt worden, daß außer der Nebenspirale, in welcher der Nebenstrom beobachtet wird, eine zweite Spirale entweder an der andern Seite der Hauptspirale, oder zwischen Haupt- und Nebenspirale gestellt wurde. Statt der zweiten Nebenspirale hat man öfter Metallkörper, bei cylindrischen Spiralen Cylinder, bei ebenen Spiralen Platten, gebraucht und dabei gefunden, daß der beobachtete Nebenstrom desto schwächer wird, je besser leitend der Metallkörper ist, wonach die Erscheinung von Henry mit dem Namen: Schirmung (*screening*) des Nebenstromes belegt wurde¹⁾. Man sieht jedoch ein, daß bei der unmittelbaren Wirkung des einen Nebenstromes auf den andern, auch zugleich eine mittelbare Wirkung stattfinden muß, die nach §. 4. das Eigenthümliche hat, daß sie bei vollkommener Schließung der Nebenspirale unmerklich ist, bei einer bis zu einem bestimmten Grade verschlechterten Schließung ihr Maximum erreicht und danach mit der weiteren Verschlechterung der Schließung continuirlich abnimmt. Es folgt hieraus, daß bei allmählig an Leitungsvermögen abnehmender Schließung einer Nebenspirale, der in einer andern nahestehenden Spirale beobachtete Nebenstrom zwei Minima und zwei Maxima erreichen muß. Diefs zeigen die folgenden Versuche. Um einen Holzcyylinder von 13 Zoll Höhe, $6\frac{1}{2}$ Zoll Breite wurden drei Kupferdrähte neben einander spiralförmig gelegt. Jeder Draht war $\frac{7}{12}$ Linien dick 53 Fufs lang und machte 31 Umgänge von $4\frac{1}{3}$ Linien Ganghöhe. Die erste Spirale wurde in den Hauptbogen der Batterie eingeschaltet, die zweite mit dem Thermometer verbunden, die dritte, die also die zweite Nebenspirale darstellte, durch Drähte von successiv zunehmendem Verzögerungswerthe geschlossen. Außer der Beschaffenheit der Drähte werde ich beiläufig

1) Sturgeon *annals of elect.* IV. 302.

ihre Verzögerungswerthe ($\frac{lx}{r^2}$) angeben und dabei den Werth für einen Platindraht von 1 Fufs Länge 1 Lin. Radius zur Einheit setzen. Der Werth des Nebenstromes ist aus drei beobachteten Erwärmungen berechnet und betrug 0,90, als die zweite Nebenspirale offen war, wofür in der Tabelle 100 gesetzt ist.

Bei Schließung der 2ten Nebenspirale durch:			Verzögerungs-	Werth d. Neben-
Metall.	Rad.	Länge.	werth.	stroms d. ersten Nebenspirale.
				100
Kupfer 0",31	23	Zoll	3,1	61
"	44	"	5,9	63
"	67	"	9,0	69
"	53	Fufs	85,6	93
Platin 0",04098	59,2	Lin.	254	66
" 0, 02857	0,49	Fufs	609	59
"	1,98	"	2435	56
"	5,95	"	7298	59
"	7,94	"	9737	62
"	9,92	"	12162	66
"	11,9	"	14587	69
"	13,9	"	17093	70
"	19,8	"	24269	77
"	29,7	"	36399	81
"	43,6	"	53429	87
"	63,5	"	77809	90
"	79,3	"	97169	92
"	103,2	"	126459	97

Indem die zweite Nebenspirale durch Drähte von zunehmendem Verzögerungswerthe geschlossen wurde, erreichte der in der ersten Nebenspirale beobachtete Nebenstrom, der zu Anfang den Werth 100 hatte, zwei Minima und zwei Maxima, nämlich:

Erstes Minimum	61	bei dem Verzögerungswerthe	3
" Maximum	93	" " " "	85
Zweites Minimum	56	" " " "	2435
" Maximum	97	" " " "	126459

Bis zum Eintritte des ersten Maximum sind die Verzögerungswerthe der Schliessung so klein, dafs keine mittelbare Wirkung des zweiten Nebenstromes auf den ersten eintreten kann (§. 4.) es ist demnach die in den ersten Versuchen merkliche Schwächung die Folge der unmittelbaren Wirkung jenes Stromes, und diese um so bedeutender je stärker der Strom ist. Ein gegebener Nebenstrom kann also sicher geschwächt werden, wenn man von demselben Theile des Hauptbogens, der ihn erregt, einen zweiten Nebenstrom erregen läfst und diesem durch Vollkommenheit seiner Schliessung eine grofse Stärke giebt. Bei minder vollkommener Schliessung ist zwar auch eine Schwächung zu erhalten, bei den aufgeführten Versuchen sogar eine gröfsere als die erste, die aber nur bei einem empirisch zu bestimmenden Werthe der Schliessung ihr Maximum erreicht und danach stetig abnimmt.

§. 7.

Nebenstrom nach Beschaffenheit der Nebenschliessung. Der Hauptstrom hat für die Einheit der Ladung der Batterie den Ausdruck $\Theta = \frac{a}{1+bV}$, in welchem a und b Constanten bedeuten und V den Verzögerungswerth des veränderlichen Theils der Schliessung bezeichnet. Diefs Gesetz gilt gleichfalls für die Ströme höherer Ordnung und namentlich für den secundären Strom, wo dann V auf den veränderlichen Theil der Nebenschliessung bezogen werden mufs; aber das Gesetz ist in den Versuchen nie rein zu erhalten weil, wie §. 5. gezeigt worden, eine Störung durch Aenderung des Hauptstromes eintritt. Beobachtungen, die sich der Formel anschliessen sollen, müssen daher beschränkenden Bedingungen unterworfen werden und es wäre ein vergebliches Bemühen, diese Beschränkungen aufzugeben und eine allgemein gültige Beziehung zwischen der Stärke des Nebenstroms und der Beschaffenheit seiner Schliessung aufzusuchen. Die folgenden Versuche zeigen, dafs bei gehöriger Vorsicht die Störungen durch Rückwirkung des

Nebenstromes auf den Hauptstrom klein genug ausfallen, um das Vorhandenseyn des Grundgesetzes auf das deutlichste herauszustellen.

§. 8.

Der Schließungsbogen der Batterie wurde aus wenigen gut leitenden Stücken zusammengesetzt und enthielt die kleine Inductionsscheibe (§. 1.). In der Nebenschließung befanden sich: die zweite Inductionsscheibe, der Draht des Thermometers (Platin 115 Lin. lang, Rad. 0,0185 Lin.) und zwei Messingklemmen, zwischen welche verschiedene Platindrähte eingeschaltet wurden. Zuerst waren die Klemmen durch ein kurzes Kupferstück mit einander verbunden, was als Einschaltung Null bezeichnet wird. Bei jeder Einschaltung wurden sechs Erwärmungen beobachtet, aus welchen die Erwärmung für Einheit der Ladung berechnet wurde. Bei Berechnung der Verzögerungswerthe der Drähte ist der par. Fufs zur Einheit der Länge, die Linie zur Einheit des Radius genommen und die Verzögerungskraft des Platins 1 gesetzt. Man hat daher in Bezug auf die Angaben der folgenden Tafel $V = \frac{l}{144 r^2}$.

In die Nebenschließung eingeschaltete

No.	Platindrähte.		Stärke des Nebenstroms.		
	Länge l .	Radius r .	lg. V .	beobachtet.	berechnet.
1.	0			1,05	1,05
2.	137 Lin.	0,0325 Lin.	2,9594	0,80	0,810
3.	116	0,0185	3,3717	0,59	0,595
4.	250	0,0238	3,4836	0,49	0,525
5.	278	0,0185	3,7512	0,37	0,37.

Aus der ersten und fünften Beobachtungsreihe leitet man die Formel her $\theta = \frac{1,05}{1 + 0,000326 V}$, nach welcher die gesammten Werthe berechnet sind. Vier von den beobachteten Werthen schliessen sich deutlich der Formel an und nur ein Werth, der vierten Reihe, entfernt sich von ihr. Für diese Reihe ist der beobachtete Werth bedeutend

kleiner als der berechnete, woraus erhellt, daß die in jener Reihe gebrauchte Nebenschließung den Hauptstrom in größerem Verhältnisse schwächte, als jede der übrigen Schließungen. Es ist hier zu wiederholen, daß dies keine Eigenschaft des speciellen, in jener Nebenschließung gebrauchten Drahtes ist, der bei anderer Hauptschließung sich mit den übrigen Drähten der Formel anschließen würde.

§. 9.

Nebenstrom nach Beschaffenheit der Hauptschließung. Durch Einschaltung von Drähten in die Hauptschließung wird die Entladungszeit des Hauptstromes geändert und mit ihr die Entladungszeit des Nebenstromes in einem constanten Nebenbogen. Findet der Hauptstrom allein statt, so ändern ihn die Einschaltungen nach Maßgabe der Formel $\Theta = \frac{a}{1+bV}$ in welcher V den Verzögerungswerth des eingeschalteten Drahtes bezeichnet. Dieselbe Formel würde für den Nebenstrom gelten, wenn nicht der Hauptstrom durch die Nebenschließung geschwächt würde und zwar in verschiedenem Maasse, je nach seiner eigenen Zusammensetzung. Es kann der Fall eintreten, daß die constante Nebenschließung bei einem in die Hauptschließung eingeschalteten Drahte das Maximum der Schwächung giebt, die der Hauptstrom erfahren kann, während bei anderen Einschaltungen nur eine geringe Wirkung stattfindet. Wenn man daher die Nebenströme bei verschiedenen Einschaltungen in den Hauptbogen nach der angegebenen Formel berechnet, so werden die beobachteten Werthe mit den berechneten mehr oder weniger übereinstimmen, und die Uebereinstimmung wird bei diesem oder jenem Drahte fehlen, je nach der Zusammensetzung von Haupt- und Nebenschließung und nach der Wahl der Beobachtungen, aus welchen die Constanten der Formel bestimmt werden.

§. 10.

Der Apparat war ebenso zusammengestellt wie im §. 8., nur waren die zur Einschaltung der Drähte benutzten Messing-

singklemmen aus der Nebenschließung entfernt und in dem Hauptbogen angebracht.

In die Hauptschließung eingeschaltete Platindrähte.			Stärke des Nebenstroms.		
No.	Länge l .	Radius r .	lg. V .	beobachtet Θ .	berechnet.
1.	0			1,16	1,16
2.	59,2 Lin.	0,04098 Lin.	2,3890	1,01	1,00
3.	143,5		2,7732	0,78	0,838
4.	137	0,03254	2,9594	0,70	0,729
5.	116	0,0185	3,3717	0,47	0,459
6.	250	0,0238	3,4836	0,39	0,39.

Aus der ersten und letzten Beobachtung ist $\Theta = \frac{1,16}{1 + 0,000648 V}$ berechnet. Die erste, zweite, fünfte und sechste Beobachtung stimmen mit der Formel, während die dritte und vierte bedeutend kleiner ausfielen, als nach den Constanten der Formel zu erwarten war. Es zeigt dies, daß die constante Nebenschließung den Hauptstrom stärker schwächte, der durch die Einschaltung 3 und 4 erhalten wurde, als bei den übrigen Einschaltungen. Um die Beobachtungen 3 und 4 aus der Formel zu erhalten, würden wir die Drähte 3 und 4 mit einem größeren Verzögerungswerthe in Rechnung setzen müssen, als sie in der That besitzen. Hätte man hingegen die Constanten der Formel aus den Beobachtungen 3 und 4 berechnet, so müßten die übrigen Drähte mit einem kleineren Verzögerungswerthe, als sie besitzen, angesetzt werden, um die beobachteten Werthe aus der Formel zu geben. Man kann daher das Ergebniss dieses und des vorangehenden Abschnittes so ausdrücken: Bei Einschaltung von Drähten in die Haupt- oder Nebenschließung befolgt der Nebenstrom im Allgemeinen das in der Formel $\Theta = \frac{a}{1 + bV}$ ausgedrückte Gesetz, worin V den Verzögerungswerth eines eingeschalteten Drahtes bezeichnet, Diefes Gesetz erleidet durch Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom Störungen, die bei zufällig gewählten Drähten so bedeutend werden können, daß einige von

ihnen mit einem kleineren oder größeren Verzögerungswerthe zu wirken scheinen, als sie thatsächlich besitzen.

§. 11.

Die Paragraphen 8 und 10. liefern die experimentellen Belege zu der Erklärung, die ich von den Abweichungen gegeben habe, welche die Gesetze der Zweigströme zeigen ¹⁾. Ein jeder an den Schließungsbogen angelegte Zweig ist als die Schließung eines Nebenstromes zu betrachten, der in dem andern Zweige von dem in ihm fließenden Hauptstrome erregt wird. Gebraucht man nun nicht die Vorsicht, die beiden Zweige nur kurz und von nicht zu großer Verschiedenheit des Verzögerungswerthes zu wählen, so wird die Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom so bedeutend, daß die Beobachtungen merklich abweichen von den Formeln, durch welche die Zweigströme bestimmt werden. Ein in die Augen fallendes Beispiel einer solchen Störung, zu deren Erkenntniß man jener Formeln nicht bedarf, mag hier beiläufig aufgeführt werden. Im Schließungsbogen der Batterie befand sich ein 22 Zoll langer Kupferdraht von $\frac{7}{32}$ Linie Radius und der Platindraht des Thermometers, das bei einer gewissen Ladung der Batterie die Erwärmung $35\frac{1}{2}$ gab. Als die Enden des Kupferdrahtes durch einen beinahe 4 Fuß langen Platindraht von 0,028 Linie Radius verbunden waren, so daß zwei Zweige entstanden, von welchen der eine aus Kupfer, der andere aus Platin bestand, gab die frühere Ladung der Batterie eine Erwärmung von nur $31\frac{1}{2}$. Wir haben also eine kleinere Erwärmung im Stamme, wenn daran Zweige vorhanden waren, als wenn nicht. Hier ist es nicht möglich, die Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom zu übersehen, da man sonst zu der widersinnigen Folgerung käme, daß eine gegebene Elektrizitätsmenge sich in längerer Zeit ausgleiche, wenn ihr zwei Wege geöffnet sind, als wenn ihr nur einer dieser Wege offen steht. Bei Verlängerung des Platinzweiges wurde

1) Pogg. Ann. Bd. 63, S. 502.

übrigens in jenen Versuchen der anfängliche Werth des Stromes erreicht und dann überschritten.

§. 12.

Nebenstrom nach der Form der Nebenschließung. Die Wirkung des Hauptdrahtes auf sich selbst hatte sich mir so gezeigt ¹⁾, daß bei Annäherung zweier parallelen Stücke des Hauptdrahtes an einander, der Hauptstrom verstärkt wurde, wenn er beide Stücke in entgegengesetzter, und geschwächt, wenn er sie in gleicher Richtung durchlief. Die hierzu nöthige Form des Hauptdrahtes wurde hiernach so bestimmt, daß bei U-Form des Drahtes die stärkste, bei N-Form die schwächste und bei der Form der geraden Linie die mittlere Stromstärke bemerkt wurde. Die Ursache der Erscheinung ist in dem Auftreten eines Nebenstromes vermuthet, und damit zugleich erklärt worden, weshalb die Aenderung des Hauptstromes nur äußerst klein war. Der Hauptbogen der Batterie bildet nämlich keinen geschlossenen Metallkreis, der erregte Nebenstrom konnte nur schwach seyn, und man bedurfte zur Aufzeigung der Erscheinung zweier ebenen, einander nahestehenden Spiralen, durch deren Verbindung die U-Form oder N-Form hergestellt wurde. Es wurde angegeben, daß principiell jede einzelne (ebene oder cylindrische) Spirale der N-Form gleich wirken und daher den Strom, der durch sie hindurchfließt, schwächen muß. Es liefs sich voraussehen, daß die Wirkung des Nebendrahtes auf sich selbst und daher die Abhängigkeit des Nebenstromes von der Form seines Drahtes, der einen geschlossenen Metallkreis bildet, viel größer sein würde, als die des Hauptdrahtes, aber der Sinn der Aenderung blieb ungewiß, da die Richtung der Ströme höherer Ordnung nicht unzweifelhaft feststand. Die folgenden Versuche geben hierüber Gewißheit.

§. 13.

Der Hauptschließungsbogen enthielt als Hauptspirale die kleine Inductionsscheibe, der Nebenbogen die dazu ge-

1) Pogg. Ann. Bd. 81, S. 428.

hörige Nebenspirale, das Thermometer und einen 44,7 Fuß langen Kupferdraht von $\frac{7}{32}$ Lin. Dicke, der auf Seidenschnüren in vier Längen ausgebreitet lag, so daß die einzelnen Längen 1 Fuß und darüber von einander entfernt waren und nicht merklich auf einander wirkten. Ich werde einen so ausgebreiteten Draht hier und in der Folge gerade ausgespannt nennen, weil seine Wirkung sich von einem ganz in gerader Linie liegenden nicht merklich unterschied. Nachdem der Nebenstrom bei dieser Anordnung gemessen war, wurde der Kupferdraht abgenommen und frei zu einer ebenen Spirale aufgewunden. Hierzu waren zwei Guttapercha-Streifen zu einem Kreuze verbunden, auf dessen hoher Kante die Windungen des Drahtes aufgelegt und durch Erhitzung befestigt wurden. Die so gebildete Spirale enthielt 26 Windungen mit dem größten Halbmesser von 69, dem kleinsten von 8 Linien. Als die Spirale in die Nebenschließung gebracht worden, war der Nebenstrom so schwach geworden, daß er erst bei bedeutend stärkeren Ladungen der Batterie, als früher, bestimmt werden konnte. Es wurden folgende Erwärmungen bemerkt:

In der Nebenschließung 44 Fuß Kupferdraht gerade ausgespannt.			in Form einer ebenen Spirale.		
Flaschen- zahl.	Elektricitäts- menge.	Erwärmung.	Flaschen- zahl.	Elektricitäts- menge.	Erwärmung.
3	10	5,9			
	12	7,4	3	20	2,2
	14	9,1		25	3,8
Einheit der Ladung		0,16			0,017.

Der Nebenstrom war dadurch, daß ein gerader Theil der Nebenschließung zu einer ebenen Spirale aufgewunden wurde, im Verhältnisse 100 zu 11 geschwächt worden. In der Spirale wirkt jede Wirkung auf die ihr zunächst liegende, und zwar durchläuft der Strom beide Windungen in derselben Richtung. Es tritt also, ähnlich wie im Hauptdrahte, eine Schwächung des Nebenstromes ein durch die N-Form des Nebendrahtes. Die Größe der Schwächung hängt, wie von selbst klar ist, von der Länge des Theils des Neben-

drahtes ab, der eine Formänderung erfahren hat, und ist hier so bedeutend, weil der ganze Nebenbogen nur etwa 60 Fufs mafs, von dem 44 Fufs die Spiralforn erhielten.

§. 14.

In den folgenden Versuchen war der Theil der Nebenschließung, dessen Form geändert wurde, im Verhältnisse zur ganzen Schließung kleiner als im vorigen Paragraph, und daher auch die Veränderung des Stromes geringer. Hier wurde auch die Verstärkung des Stromes durch U-Form des Drahtes aufgezeigt. Zu bleibendem Gebrauche brachte ich drei identische Drähte in die drei entscheidenden Formen. Es wurden von einem $\frac{3}{8}$ Lin. dicken Kupferdrahte drei gleiche Längen, jede von 53 Fufs, abgeschnitten. Die erste Länge wurde auf Seidenschnüren ausgebreitet, so dafs sie als gerade ausgespannt gelten konnte (§. 13.). Der zweite Draht wurde zu einer ebenen Spirale gewunden, deren größter Durchmesser nahe 1 Fufs betrug und die auch im Uebrigen der großen Inductionsscheibe glich (§. 1.). Der dritte Draht wurde auf den Kanten zweier Guttapercha-Streifen, die an den gegenüberliegenden Kanten eines nahe 1 Fufs breiten Brettes befestigt waren, im Zickzack aufgelegt, so dafs 25 U gebildet wurden, deren Schenkel im Mittel 1,2 Linien von einander standen (Fig. 4). Von diesen U liefs ich 13, nämlich das 1ste, 3te bis 25ste U auf der Guttapercha horizontal liegen und bog die übrigen 12 U aufwärts, so dafs 6 in einer etwa 50 Grad, die andern 6 in einer 60 Grad gegen den Horizont geneigten Ebene zu liegen kamen. Es geschah diefs, um die gegenseitige Einwirkung auf die Schenkel jedes U zu beschränken und die Wirkung zweier U auf einander zu verringern. Man sieht nämlich in der Figur, dafs zwei nächstliegende Schenkel von einem Strom in entgegengesetzter, zwei ferner liegende in gleicher Richtung durchflossen werden. Es ist die Absicht, den Erfolg der Einwirkung der Schenkel unter der ersten Bedingung zu beobachten. Ich werde diese Drahtvorrichtung U-Tafel nennen.

§. 15.

Eine große Inductionsscheibe wurde in dem Hauptbogen angebracht, der Nebenbogen enthielt die dazu gehörige Inductionsscheibe, das Thermometer und 53 Fufs Kupferdraht, der in den, im vorigen Paragraph beschriebenen, drei Formen angewandt wurde. Die folgenden Erwärmungen sind daher bei, bis auf die Form, vollkommen identischen Haupt- und Nebenbogen beobachtet und geben die einfachste Anschauung der Abhängigkeit des Nebenstroms von der Form seines Bogens.

Flaschen- zahl.	Elektricitäts- menge.	In der Nebenschließung 53 Fufs Kupferdraht		
		gerade ausgespannt.	als ebene Spirale.	als U-Tafel.
		Erwärmung.		
3	6	9,6		11,5
	8	16,2	10,8	18,3
	10	24,5	16	27
	12		21,2	
4	6	7,5		8,2
	8	12,8	7,7	15,2
	10	18,8	11,4	21,2
	12		16,2	
Einheit der Ladung		0,78	0,47	0,89
Verhältnifs		100	60	114.

Der Nebenstrom = 100 gesetzt, wenn ein Stück seiner Schließung gerade ausgespannt ist, wurde durch Biegung dieses Stückes in die N-Form bis 60 geschwächt, durch Biegung in die U-Form bis 114 gestärkt. Beiläufig wurde auch die Schwächung versucht, als in der Nebenschließung eine Unterbrechung von 0,2 Lin. angebracht war, durch die der Nebenstrom mit einem Funken ging; ich erhielt den Strom 59 also ebenso, wie bei vollem Drahte. Es gilt demnach für den secundären Strom dasselbe Gesetz, das für den Hauptstrom gefunden worden: bei *Näherung zweier parallelen Stücke der Nebenschließung an einander*, wird der secundäre Strom geschwächt, wenn er beide Stücke in gleicher, und verstärkt, wenn er sie in entgegengesetzter Richtung durchläuft.

§. 16.

Obgleich auf der *U*-Tafel Drahtlänge und Entfernung zweier nächstliegenden Drahtstücke dieselben waren, wie in der ebenen Spirale, so ist doch die Wirkung der Tafel in Verstärkung des Stromes bedeutend kleiner, als die der Spirale in der Schwächung. Dies rührt daher, dass in der Spirale die Wirkung eine viel grössere Drahtlänge umfasst, als in der *U*-Tafel. Während nämlich auf der Tafel nur die Wirkung der Schenkel desselben *U* zur Verstärkung beiträgt, erstreckt sich die Wirkung jeder Windung der Spirale über die nächstfolgende hinaus auch auf die ferner liegenden Windungen. Zwar erfolgt diese Wirkung aus immer größeren Entfernungen, nimmt aber nur wenig ab. Wendet man daher zur Schwächung des Nebenstromes Spiralen von ungleicher Ganghöhe an, so ist die Wirkung weniger verschieden, als sich aus dem Verhältnisse der Ganghöhe erwarten liesse. Ich verglich in dieser Beziehung eine cylindrische Spirale, die sich auf dem Inductionscylinder (§. 1.) befand, mit einer ebenen Spirale von gleicher Drahtlänge und Anzahl der Windungen. In der cylindrischen Spirale betrug der Zwischenraum zwischen zwei Windungen 2,6 Lin., in der ebenen 1,2 Linien. Ein Nebenstrom, der durch Einschaltung der ebenen Spirale statt eines geraden Drahtes, von 100 auf 65 gebracht wurde, sank durch Einschaltung der cylindrischen Spirale noch immer bis 74. Es ist hierbei noch zu berücksichtigen, dass eine cylindrische Spirale, die mit einer ebenen gleiche Ganghöhe und gleichviel Windungen hat, schon an sich schwächer als diese wirkt.

§. 17.

Ursache der Abhängigkeit des Nebenstromes von der Form seines Bogens. Wie nach einer früheren Annahme die Abhängigkeit des Hauptstromes von der Form des Bogens auf der Erregung eines secundären Stromes beruht¹⁾, so liess sich vermuthen, dass die in den vorangehenden

1) Pogg. Ann. Bd. 81, S. 433.

Paragraphen angeführten Thatsachen in der Erregung eines *tertiären* Stroms in den Windungen der Nebenschließung ihren Grund haben. Diese Vermuthung läßt sich hier durch einen schlagenden Versuch zur Gewißheit erheben, indem man die Bildung eines *tertiären* Stromes zu hindern sucht, und damit die Aenderung des Nebenstromes aufhebt. Ich habe gezeigt (§. 6.), daß ein durch Induction in einem Drahte erregter Strom bedeutend geschwächt wird, wenn der ihn erregende Draht zugleich auf einen dritten Draht wirkt, der eine gutleitende Schließung besitzt. Es wird daher der in der Nebenschließung angenommene *tertiäre* Strom geschwächt werden können, wenn wir zur Bildung eines zweiten *tertiären* Stromes Gelegenheit geben. Der Schließungsbogen der Batterie enthielt eine große Inductionsscheibe, in der Nebenschließung war die zweite Inductionsscheibe, das Thermometer und ein 53 Fufs langer Kupferdraht vorhanden, der später mit einer ebenen Spirale gleicher Länge oder der einen cylindrischen Spirale des Inductionscylinders vertauscht wurde. Der ebenen wie der cylindrischen Spirale stand in 1 Linie Entfernung eine zweite parallellaufende Spirale nahe, deren Enden zuerst ungeschlossen blieben, dann durch einen 23 Zoll langen Kupferdraht geschlossen wurden (Fig. 5.). Diese letzte Spirale soll die *tertiäre* Spirale heißen. Bei diesen verschiedenen Anordnungen sind folgende Werthe des secundären Stromes für Einheit der Ladung gefunden worden.

In die Nebenschließung 53 Fufs Kupferdraht eingeschaltet				
als gerader Draht.	als cylindrische Spirale.		als ebene Spirale.	
		Tertiäre Spirale geschlossen.		Tertiäre Spirale geschlossen.
Nebenstrom 0,80	0,59	0,78	0,52	0,76
Verhältniß 100	74	98	65	95.

Der secundäre Strom, der bei Einschaltung eines geraden Drahtes den Werth 100 hatte, wurde bis 74 oder 65 geschwächt, wenn statt des Drahtes eine cylindrische oder ebene Spirale benutzt wurde, stieg aber wieder beziehungsweise bis 98 und 95, wenn eine zweite geschlossene Spi-

rale der ersten nahe stand. Die Schwächung des Nebenstromes, die durch die Spiralform des Nebendrahtes gegeben war, wurde also größtentheils wieder aufgehoben, wenn in der Spirale die Bildung eines tertiären Stroms erschwert worden war. Nun ist aber direct zu zeigen (§. 23.), daß ein tertiärer Strom derselben Richtung, wie der in der Spirale erregte, einen secundären Strom schwächt, in dessen Nähe er fließt, und es ist daher der vollständige Beweis gegeben, daß *die Schwächung des Nebenstromes durch die Form der Nebenschließung von einem in der Masse der Nebenschließung erregten tertiären Strome herrührt.*

§. 18.

So große Wahrscheinlichkeit die Annahme hat, daß auch die Verstärkung des Nebenstromes durch einen tertiären Strom bewirkt wird, so war es doch wünschenswerth, dafür einen experimentellen Beweis zu geben, da kein directer Versuch der Verstärkung eines Nebenstromes durch einen tertiären vorliegt. Ich ließ zwei Kupferdrähte, jeden 53 Fufs lang, $\frac{5}{8}$ Lin. dick, auf einem eichenen Brette dergestalt befestigen, wie in Fig. 6. ersichtlich ist (der eine Draht, obgleich dem andern völlig gleich, ist zur Unterscheidung punktirt). Die Drähte waren dreifach mit Seide besponnen und gefirnisset, sie bilden in derselben Ebene 102 Lagen, die auf dem Brette eine Länge von $14\frac{1}{2}$ Zoll einnehmen, der Zwischenraum zwischen zwei Lagen beträgt 1 Linie. Es wurde ein Nebenstrom in einer kleinen Inductionsscheibe erregt und durch das Thermometer gemessen, während entweder ein 53 Fufs langer gerader Kupferdraht oder einer der gleich langen Drähte auf dem Brette sich in der Nebenschließung befand. Die Erwärmung für Einheit der Ladung war in dem ersten Falle 0,79, im zweiten 1,15, der Nebenstrom also durch die U-Form im Verhältnisse 100:145 verstärkt worden. Bei der U-Form lag dem schließenden Drahte zwar ein zweiter parallellaufender Draht nahe; dieser blieb aber unwirksam, weil seine Enden frei lagen. Als nun diese Enden durch einen 23 Zoll

langen Kupferdraht mit einander verbunden wurden, war die Erwärmung 1,08, der Nebenstrom also 137, d. h. wiederum schwächer geworden. Es ist also hier unzweifelhaft die Verstärkung durch einen tertiären Strom herbeigeführt, da sie durch Schließung eines nebenliegenden Drahtes vermindert werden konnte.

§. 19.

Auffallend war die Geringfügigkeit der Wirkung des nebenliegenden Drahtes auf den *U*-förmigen in Vergleichung mit der oben bemerkten starken Wirkung eines solchen Drahtes auf eine Spirale (§. 17.). Es folgt hieraus, daß der *U*-förmige Draht nur einen schwachen Nebenstrom zu erregen vermochte, und dies wurde durch den Versuch bestätigt. Als nämlich der eine *U*-Drath in den Schließungsbogen der Batterie angebracht war, der außerdem eine Spirale des Inductionscylinders enthielt, der zweite *U*-Drath mit dem Thermometer verbunden wurde, ergab die Messung einen äußerst schwachen secundären Strom. Bezeichnet man den Nebenstrom, der durch den Inductionscylinder erregt wurde mit 100, so war der durch den *U*-Drath unter gleichen Umständen erregte Strom nur 4 bis 5. Der Grund dieser schwachen Erregung wird durch einen Blick auf die Fig. 6. klar. Jeder Schenkel des Hauptdrahtes erregt einen Nebenstrom in zwei Schenkeln des Nebendrahtes, z. B. *A* in den Schenkeln *a* und *b*. Diese Ströme laufen in dem Nebendrahte einander entgegen und es kann nur ihre Differenz den ganzen Nebendraht durchlaufen. Nun ist zwar der Strom in *a* von dem Hauptdrahte aus der Entfernung von 1 Linie, der Strom in *b* aus der Entfernung von 2 Linien erregt, ich habe aber früher gezeigt¹⁾, daß bei so kleinen Entfernungen der Nebenstrom in weit geringerem Maasse abnimmt, als die Entfernung zunimmt. Das Resultat der Einwirkung aller Schenkel des Hauptdrahtes auf die des Nebendrahtes kann daher nur ein schwacher Nebenstrom seyn.

1) Pogg. Ann. Bd. 50, S. 8.

Der Strom dritter Ordnung (tertiärer Strom).

§. 20.

Ein in der Nebenschließung befindliches (gewöhnlich spiralförmiges) Drahtstück erregt in einem naheliegenden parallelen Drahte den tertiären Strom. Da von hier an stets mehrere Spiralen gebraucht werden, so müssen diese von einander unterschieden werden. Alle Spiralen, die einen Strom erregen, sollen *Hauptspiralen*, alle erregten Spiralen *Nebenspiralen* heißen und nach dem Strome bezeichnet werden, der in ihnen fließt. Die Spirale im Schließungsbogen soll wie früher *Hauptspirale* ohne Beisatz, die ihr nahestehende der Nebenschließung *Nebenspirale* oder secundäre Nebenspirale genannt werden. Die zweite in der Nebenschließung befindliche Spirale ist die *secundäre Hauptspirale*, ihr nahe steht die *tertiäre Nebenspirale*. Befindet sich in der tertiären Schließung eine erregende Spirale, so ist diese die *tertiäre Hauptspirale*, der die *Nebenspirale vierter Ordnung* nahe steht u. s. w.

§. 21.

Vergleichung des tertiären und des secundären Stromes.
Der Schließungsbogen der Batterie enthielt eine große Inductionsscheibe *A* (Fig. 7.), die Nebenschließung in zwei Linien Entfernung die secundäre Nebenspirale *B* und eine ihr gleiche secundäre Hauptspirale *C*. Die Verbindung von *B* und *C* war durch Kupferdrähte und einen dünnen Platindraht *p* bewirkt, der dem Drahte im Thermometer mit seinen Befestigungen entsprach, so daß, wenn der Draht *p* durch das Thermometer ersetzt wurde, die Nebenschließung als unverändert gelten konnte. In der tertiären Schließung befand sich die tertiäre Nebenspirale *D*, von ihrer Hauptspirale zwei Linien entfernt, und das Thermometer nebst kupfernen Verbindungsdrähten, die mit den Drähten der secundären Schließung gleiche Beschaffenheit hatten. Die Enden der Drähte *a* und *b* wurden direct mit einander verbunden. Sollte der secundäre Strom gemessen werden, so wurden die Stellungen des Thermometers *t* und des

Platindrahts p mit einander vertauscht. Ich beobachtete sechs Erwärmungen sowohl im secundären wie im tertiären Bogen und fand für Einheit der Ladung den secundären Strom 0,5, den tertiären 0,4, so daß letzterer $\frac{4}{5}$ vom Werthe des ersten besaß. Es ist dies der einfachste Fall der Vergleichung beider Ströme, da jeder von ihnen durch Wirkung identischer Spiralen erregt wurde und die Beschaffenheit der Schließungen, bis auf den Mangel einer zweiten Spirale im tertiären Bogen, bei beiden gleich war. Dennoch ist das Verhältniß der beiden Ströme ein ganz specielles und würde durch gleiche Veränderung beider Schließungen ein anderes werden. Es wird sich nämlich zeigen (§. 23.), daß der tertiäre Strom auf den secundären zurückwirkt und zwar nach Maßgabe der Beschaffenheit jeder Schließung, und daß in Folge hiervon der tertiäre Strom bei Veränderung seiner Leitung nicht im Verhältniß des Verzögerungswerthes seiner Leitung geändert wird. Dasselbe ist bereits oben (§. 7.) für den secundären Strom aufgezeigt worden, so daß gleiche Drahtlängen zur secundären und tertiären Schließung hinzugesetzt oder von ihnen fortgenommen, im Allgemeinen beide Ströme nicht in demselben Verhältnisse ändern. Es gilt dies für jede zwei auf einander folgenden Ströme, deren Vergleichung daher kein Interesse bietet.

§. 22.

Tertiärer Strom nach Beschaffenheit seines Bogens. Ich gebrauchte die Anordnung des Apparates, die im vorigen Paragraph beschrieben und in Fig. 7. abgebildet ist. Der tertiäre Bogen wurde dadurch geändert, daß zwischen die Enden a und b der Kupferdrähte verschiedene Längen eines Platindrahts von 0,0286 Lin. Rad eingeschaltet wurden. Diese, den Verzögerungswerthen der Drähte proportionalen, Längen sind in der folgenden Tafel mit der Vereinfachung angegeben, daß 1,98 Fufs zur Einheit angenommen wurde.

Länge des in den tertiären Bogen eingeschalteten Drahtes.	Stärke des tertiären Stromes,	
	beobachtet.	berechnet.
0	0,40	0,40
0,494	0,32	0,345
1	0,29	0,302
3	0,197	0,202
7	0,126	0,122
11	0,087	0,087.

Die Beobachtungen schliessen sich der Formel $\Theta = \frac{0,40}{1 + 0,327 V}$ nicht genau an, Welche zwei Werthe auch man zur Bestimmung der Constanten gewählt hat (es ist hier die erste und letzte benutzt), so finden sich immer einige Einschaltungen, bei welchen die Beobachtung bedeutend von der Rechnung abweicht. In Bezug auf die speciellen Drähte, bei welchen dieß stattfindet, gilt dasselbe was ich bei Gelegenheit der Einschaltungen in den secundären Bogen bemerkt habe (§. 8.). Da die Aenderung des tertiären Stromes, die in Veränderung seiner Leitung den Grund hat, der Formel streng folgen muß, so ist aus jener Nichtübereinstimmung zu schliessen, daß die Rückwirkung des tertiären Stroms auf den secundären nicht in dem Verhältnisse geschieht, welches die Formel bestimmt. Die folgende Untersuchung zeigt, daß die Formel nicht einmal in allen Fällen den Sinn der Veränderung des secundären Stromes angiebt, so daß z. B. eine Verlängerung des tertiären Bogens nicht unbedingt eine Schwächung des secundären Stromes hervorbringt.

§. 23.

Rückwirkung des tertiären Stromes auf den secundären.
Der zuletzt gebrauchte Apparat wurde dahin abgeändert, daß das Thermometer t (Fig. 7.) an die Stelle des Platindrabtes p in den secundären Bogen gesetzt, die Stelle des Thermometers durch Kupferdraht ausgefüllt wurde. Nachdem zwischen die Enden a und b ein Kupferdraht oder steigende Längen eines Platindrabtes ausgespannt worden,

wurde das Thermometer beobachtet und die Stärke des secundären Stromes danach berechnet.

In den tertiären Bogen eingeschaltet.		Stärke des secundären Stroms.	
Rad.	Länge.		Verhältniß.
Kupferdraht	$\frac{5}{16}$ Lin.	7 Zoll	0,77 100
Platin	0,0286 Lin.	0,49 Fufs	0,73 95
		1,98	0,54 70
		3,97	0,41 53
		5,95	0,33 43
		9,9	0,26 34
		15,9	0,21 27
		19,8	0,19 25
		25,7	0,18 23
		77,3	0,22 29
		89,3	0,23 30
		101	0,24 31.

Bei zunehmender Länge des tertiären Bogens nimmt der secundäre Strom ab und zwar anfangs schnell, später langsam und erreicht einen kleinsten Werth, wonach er mit fernerer Verlängerung des Bogens wieder zunimmt. So hat der Strom bei Einschaltung von nahe 4 Fufs des Platindrahts beinahe die Hälfte des Werths erreicht, den er bei Schließung des Bogens durch einen kurzen Kupferdraht besaß, aber erst bei Einschaltung von 25,7 Fufs erreicht er den kleinsten Werth, der weniger als $\frac{1}{4}$ des anfänglichen Werthes beträgt. Diese Erscheinung lehrt, daß der tertiäre Strom eine Rückwirkung auf den secundären ausübt, die ihr Maximum erreicht bei einem bestimmten Verzögerungswerthe des tertiären Bogens. Es ist dies, wie die ähnliche Erscheinung am Hauptstrome, die ich einer ausführlichen Untersuchung unterworfen habe ¹⁾, zu erklären durch ein immer tieferes Eingreifen der Partialentladungen des tertiären Stromes in die Partialentladungen des secundären Stromes.

§. 24.

Die Aehnlichkeit der Erscheinung bei dem Hauptstrome

1) Pogg. Ann. Bd. 51, S. 182.

und dem secundären Strome erleidet eine auffallende Ausnahme, die sich jedoch bei näherer Betrachtung als scheinbar erweist. Der Hauptstrom hat seinen größten Werth bei Schließung der Nebenspirale durch einen gutleitenden Draht, dieser Werth nimmt mit fortwährend verschlechterter Schließung zuerst ab, alsdann wieder zu und erreicht seine anfängliche Gröfse, wenn die Nebenspirale ungeschlossen bleibt. Letzteres ist bei dem secundären Strom nicht der Fall. Als in der obigen Versuchsreihe die tertiäre Nebenspirale ungeschlossen blieb, wurde der secundäre Strom 0,53 oder in der Verhältnißzahl 69 gefunden, also viel kleiner als bei vollkommener Schließung der tertiären Spirale. Diefs rührt von der in dem secundären Bogen befindlichen Spirale her, die den secundären Strom schwächt. Indem die tertiäre Nebenspirale durch einen kurzen Draht geschlossen wird, hebt man diese Schwächung zum Theil wieder auf, wie §. 17. gezeigt worden. Ich habe hier die Schwächung bestimmt, indem ich einen geraden Draht von gleichen Dimensionen mit der secundären Hauptspirale an die Stelle der letzteren setzte und den Strom 0,85 fand. Es ist daher ein Strom 0,85 durch Aufwindung des Nebensogens zu einer Spirale bis 0,53 geschwächt und durch Näherung einer geschlossenen Spirale wieder bis 0,77 gestärkt worden, der Strom verhielt sich also unter diesen Bedingungen wie 100 zu 62 zu 90, was dem §. 17. angeführten Beispiele entspricht. Auch der Hauptstrom wird durch die Spiralforn seines Bogens geschwächt und wiederum durch eine genäherte geschlossene Spirale gestärkt, diese Aenderungen sind aber so gering, dafs es eigener Vorrichtungen bedarf, sie bemerklich zu machen und sie daher gewöhnlich unbemerkt bleiben. Der hervorgehobene Unterschied zwischen dem Hauptstrom und dem secundären Strome ist also principiell nicht vorhanden, da er einerseits nur in der Gröfse der Wirkung besteht, andererseits nur durch die unwesentliche (Spiral-) Form des Schließungsbogens bedingt wird.

§. 25.

Die Einwirkung der tertiären Schließung auf den secundären Bogen ist nach der Beschaffenheit des Hauptbogens darin verschieden, daß von dieser Beschaffenheit die Größe des Minimums des secundären Stromes und die Länge des tertiären Bogens abhängt, bei welcher dieß Minimum eintritt. Um dieß zu zeigen, will ich noch eine ausführliche Beobachtungsreihe mittheilen, bei welcher der in der vorigen Reihe gebrauchte Hauptbogen durch einen 119 Linien langen Platindraht von 0,0209 Rad. verlängert war.

In den tertiären Bogen eingeschalteter Draht. Stärke des secundären Stromes.

	Radius.	Länge.	Verhältnis.	
Kupferdraht	$\frac{5}{16}$ Lin.	7 Zoll	0,45	100
Platin	0,0286 Lin.	0,49 Fufs	0,43	96
		1,98	0,33	73
		5,9	0,27	60
		9,9	0,22	49
		37,6	0,17	38
		49,6	0,15	33
		61,5	0,14	31
		73,4	0,17	38
		101	0,17	38.

Die Abnahme des secundären Stromes, durch tertiäre Schließungen gleicher Art und Länge, wie in §. 23., herbeigeführt, zeigt hier einen durchaus veränderten Gang. Während früher die Einschaltung von 25,7 Fufs Draht den kleinsten secundären Strom zur Folge hatte, tritt hier das Minimum erst bei Einschaltung von 61,5 Fufs ein. Früher betrug der Werth des schwächsten Stroms 23, hier 31, wenn der Strom bei vollkommener Schließung 100 gesetzt wird. Je unvollkommener also die Leitung im Hauptdrahte ist, desto länger muß die tertiäre Schließung seyn, um den secundären Strom auf sein Minimum zu bringen, aber zugleich ist der Werth dieses Minimums größer. Dieß Resultat entspricht dem im Hauptdrahte gefundenen ¹⁾, wo eben-

1) Pogg. Ann. Bd. 51, S. 184.

ebenfalls die Einschaltung eines Platindrahts in den Hauptdraht das Minimum des Hauptstroms vergrößerte und zu dessen Erreichung eine längere Nebenschließung nöthig machte.

§. 26.

Abhängigkeit des tertiären Stroms von der Form seines Bogens. Der Apparat hatte die schon gebrauchte Einrichtung, die aus Fig. 7. zu sehen ist. Die vier Spiralen waren die der großen Inductionsscheiben, je zwei 2 Lin. von einander entfernt. In den tertiären Bogen wurden zwei kleine ebenen Spiralen (jede von 13 Fufs Drahtlänge) hinter einander eingeschaltet und diese Spiralen durch einen Kupferdraht entweder so mit einander verbunden, dafs der tertiäre Strom beide in gleicher Richtung (von der Mitte zum Rande), oder so, dafs er sie in entgegengesetzter Richtung durchlief. Ich werde, wie schon sonst, die Verbindung zu gleicher Richtung: *N-Verbindung*, die Verbindung zu ungleicher: *U-Verbindung* nennen. Die kleinen Spiralen wurden zuerst so weit von einander gestellt, dafs erweislich keine Wirkung der einen auf die andere stattfand. Nachdem eine Messung des tertiären Stromes ausgeführt war, wurden die kleinen Spiralen einander parallel bis $1\frac{1}{2}$ Lin. genähert und der Strom bei *N-* und *U-Verbindung* der Spiralen gemessen. Es wurden folgende Werthe erhalten:

	Spiralen ausser VVirkungsnähe.	Auf einander wirkend.	
		<i>U-Verbindung.</i>	<i>N-Verbindung</i>
Tertiärer Strom	0,31	0,38	0,23
Verhältnifs	100	123	74.

Durch die *U-Verbindung* ist der tertiäre Strom gestärkt, durch die *N-Verbindung* geschwächt worden. Es gilt daher für diesen Strom derselbe Satz, der für den Haupt- und secundären Strom gilt: *Werden zwei parallele Stücke des tertiären Bogens einander nahe gebracht, so wird der tertiäre Strom geschwächt, wenn er beide Stücke in gleicher, und gestärkt, wenn er sie in entgegengesetzter Richtung durchläuft.*

§. 27.

Rückwirkung des Stroms vierter Ordnung auf den tertiären. Nach Analogie mit früheren Versuchen zu schliessen, ist diese Rückwirkung durch die Versuche des vorigen Paragraphs dargelegt. Ich habe indess, da der Apparat dazu noch ausreichte, das Auftreten eines Stromes vierter Ordnung in jenen Versuchen direct nachgewiesen. Hauptspirale und secundäre Nebenspirale befanden sich auf dem Inductionscylinder (§. 1.), secundäre Hauptspirale und tertiäre Nebenspirale waren grosse Inductionsscheiben, 1 Lin. von einander entfernt, das Thermometer befand sich im tertiären Bogen (Fig. 7.). Zwischen den Enden *a* und *b* wurde ein 53 Fufs langer Draht eingeschaltet und später durch eine ebene Spirale ersetzt, der eine gleiche Spirale nahe stand, die entweder offen oder durch einen kurzen Draht geschlossen war. In der letzten Anordnung wird der Apparat durch Fig. 8. erläutert.

Tertiärer Strom bei Einschaltung von 53 Fufs Kupferdraht

Flaschenzahl.	Elektricitäts- menge.	gerade ausgespannt.	als ebene Spirale.	als ebene Spirale mit geschlossener Spirale vierter Ordnung.
3	8	17,5		13,7
	10	25	8,5	21,3
	12	38	12,8	30,7
	14		16,8	
Einheit der Ladung		0,79	0,26	0,64
Verhältniss		100	33	81.

Der tertiäre Strom ist durch Aufwindung eines Theils seines Bogens zu einer ebenen Spirale im Verhältnisse 100 zu 33 geschwächt worden und hat dadurch, dass dieser Spirale eine zweite geschlossene Spirale nahe stand, wieder bis 81 zugenommen. Da die Wirkung der geschlossenen Spirale darin besteht, die Bildung eines Stromes vierter Ordnung in der tertiären Spirale zu erschweren, so zeigt der Erfolg des Versuches, dass die Abhängigkeit des tertiären Stromes von der Form seines Bo-

gens durch Rückwirkung des Stroms vierter Ordnung auf den tertiären Strom bewirkt wird.

Der Strom vierter Ordnung.

§. 28.

An dem Apparate des vorigen Paragraphs (Fig. 8.), wurde das Thermometer aus dem tertiären Bogen in den Bogen der vierten Ordnung versetzt, und in diesen wurden die beiden kleinen Spiralen hinter einander eingeschaltet und entweder von einander entfernt oder bis 1 Linie genähert, dabei aber in *U*- oder *N*-Verbindung gesetzt (§. 26.). Der Strom vierter Ordnung wurde durch das Thermometer gemessen.

	Spiralen aufser Wirkungsnahe.	auf einander wirkend in <i>U</i> -Verbindung.	<i>N</i> -Verbindung.
Strom vierter Ordnung	0,43	0,57	0,31
Verhältnifs	100	133	72.

Der Strom vierter Ordnung ist also durch *U*-Verbindung zweier auf einander wirkenden Theile seines Bogens verstärkt, durch *N*-Verbindung dieser Theile geschwächt worden. Es gilt für ihn in Bezug auf seine Abhängigkeit von der Form seines Bogens dasselbe, was, an den vorhergehenden Strömen nachgewiesen worden ist.

Der Strom fünfter Ordnung.

§. 29.

Auch bei diesem Strome ist es genügend, seine Abhängigkeit von der Form seines Bogens aufzuzeigen. Da hier die grösste Verstärkung vorgekommen ist, die überhaupt an einem Strome beobachtet wurde, so will ich die Versuche genauer angeben (Fig. 9.). Haupt- und Nebenspirale befanden sich auf dem Inductionscylinder, secundäre Hauptspirale und tertiäre Nebenspirale, ferner tertiäre Hauptspirale und Nebenspirale vierter Ordnung waren in 1 Linie Entfernung gestellte grosse Inductionsscheiben, endlich die Hauptspirale vierter, und die Nebenspirale fünfter Ordnung, die in 1 Lin. Entfernung stehenden kleinen Scheiben (§. 1.). Der Bogen fünfter Ordnung, der das Thermometer

enthielt, war durch einen 53 Fufs langen, geraden Kupferdraht geschlossen, der dann mit der *U*-Tafel (§. 14.) vertauscht wurde. Es wurden drei Flaschen der Batterie benutzt.

Erwärmung im Bogen fünfter Ordnung.

Electricitätsmenge.	Einschaltung von 53 Fufs Kupferdraht	
	gerade ausgespannt.	in <i>U</i> -Form.
10	3,5	7,3
12	4,5	10,2
15	6,7	14,8
17	8,3	19,2
20	10,8	25,2
Einheit der Ladung	0,09	0,20
Verhältnifs	100	222.

Der Strom fünfter Ordnung ist durch *U*-Form seines Bogens um mehr als das Doppelte verstärkt worden, so dafs die Rückwirkung des Stromes sechster Ordnung auf jenen nach demselben Gesetze, das die früheren Ströme befolgten, aufser Zweifel gesetzt ist. — Die Gröfse der Wirkung der *U*-Tafel rührt daher, dafs sich eine Spirale von nur 13 Fufs Länge in dem Bogen fünfter Ordnung befand und daher die der Formänderung unterworfenen Drahtlänge (53 Fufs) einen gröfsern Theil des ganzen Bogens ausmachte, als in den früheren Versuchen.

Die Richtung der Ströme höherer Ordnung.

§. 30.

Ueber diese Richtung sind mehrere einander widersprechende Angaben gemacht worden. Nach Henry ¹⁾ haben die Ströme höherer Ordnung gleiche Richtung, und zwar die des Hauptstromes, wenn sie durch Bandspiralen an der Innen- und Außenfläche von Glasglocken erregt werden; sind sie hingegen durch Drahtspiralen erregt, so soll der secundäre Strom dem Hauptstrom gleichgerichtet, der tertiäre ihm entgegenlaufend, der Strom vierter Ordnung wieder gleichgerich-

1) *Transact of the americ. phil. soc.** 6. 17. *Sturgeon annals of electr.** 4. 303.

tet seyn. Matteucci ¹⁾ giebt das Letztere zu, so lange die Bogen der Ströme ganz metallisch sind; ist einer der Bogen unterbrochen, so dafs in ihm der Strom mit einem Funken übergehen mufs, so soll sowohl der Strom in diesem Bogen, als der durch ihn erregte Strom die entgegengesetzte Richtung besitzen von der, die er bei vollem Bogen besitzt. Wäre also der secundäre und der tertiäre Bogen unterbrochen, so soll der secundäre Strom mit dem Hauptstrome entgegengesetzte Richtung, der tertiäre gleiche Richtung verfolgen. Diesen Fall hat Verdet ²⁾ untersucht und giebt das Umgekehrte an, nämlich dafs der secundäre Strom dem Hauptstrome gleichgerichtet, der tertiäre ihm entgegengerichtet sey. Knochenhauer ³⁾ endlich schliesst aus seinen Versuchen, der secundäre Strom sey dem Hauptstrome entgegengerichtet, der secundäre Bogen mag voll oder unterbrochen seyn.

§. 31.

Die in der vorliegenden Abhandlung aufgeführten Versuche sind sehr wichtig in Bezug auf die Richtung der Nebenströme, über die sie ein unzweifelhaftes Gesetz finden lassen. Ich werde in dem Folgenden die Richtung des Hauptstromes zu Grunde legen und mit ihr die Richtung der übrigen Ströme vergleichen. Um Undeutlichkeit zu vermeiden, die durch die zufällige Verbindung der Spiralen entstehen kann, denke man sich, bei Vergleichung der Richtung zweier entfernten Ströme, die dazwischenliegenden Ströme hinzu und vergleiche einzeln je zwei aufeinanderfolgende Ströme, wobei kein Irrthum möglich ist. Der tertiäre Strom habe die Richtung des Hauptstromes, besagt hiernach, seine Richtung sey so, als ob er mit dem secundären, und dieser mit dem Hauptstrome gleiche Richtung habe. In Fig. 9. zeigen die Pfeile die Richtung von vier Nebenströmen an, die mit dem Hauptstrome gleiche Richtung haben.

1) *De la Rive archives de l'électr.* ^a 1. 136.

2) *Annales de chimie* 3^e ser. 24. 377.

3) *Pogg. Ann.* Bd. 64, S 294.

§. 32.

Es ist nachgewiesen worden (§§. 17. 27.), daß die Aenderung jedes Stromes durch veränderte Form seines Bogens herrührt von der Erregung eines Nebenstromes in der Masse des Bogens. Die Richtung dieses Stromes in dem erregten Theile des Bogens, der dem erregenden parallel ist, ist offenbar unabhängig von der Form des Bogens, aber da der erregende, wie der erregte, Strom sich weiter verbreitet, so hängt es von der willkürlichen Biegung des Bogens ab, ob beide Ströme sich mit gleicher oder entgegengesetzter Richtung treffen. Welche auch die Richtung des Nebenstromes in einem in *U*- oder *N*-Form gelegten Bogens seyn mag, so ist es klar, daß wenn in der einen Form Haupt- und Nebenstrom einander gleichlaufend begegnen, sie in der andern Form einander entgegenlaufen werden. Von dieser Alternative hängt aber die Aenderung des erregenden Stromes ab, die bei der einen Form des Bogens in einer Schwächung, bei der andern in einer Verstärkung besteht, und es folgt daher nothwendig, daß eine bestimmte Aenderung bei bestimmter Form auch eine bestimmte Richtung des erregten Stromes gegen den erregenden beweist. Ueberall wo z. B. die *U*-Form des Bogens eine Stärkung des Stromes bewirkt, ist zu schliessen, daß der von diesem Strome erregte Nebenstrom gegen ihn eine und dieselbe Richtung besitzt. Nun habe ich gezeigt, daß dieß bei allen im Vorhergehenden untersuchten Strömen der Fall ist und es ist damit bewiesen, daß *die Richtung jedes der untersuchten Nebenströme gegen den ihn erregenden Strom eine und dieselbe ist*. Hieraus folgt unmittelbar, daß *der Strom dritter und fünfter Ordnung dem Hauptstrome gleichgerichtet ist* und die Ströme zweiter und vierter Ordnung eine unter sich gleiche Richtung befolgen. Welche diese Richtung sey, bleibt zuvörderst ungewiß.

§. 33.

Die directen Untersuchungen der Richtung des secundären Stromes, welche ich vor langer Zeit mit Hülfe eines

Condensators und von Staubfiguren angestellt habe, und die mich zu dem Schlusse führten, daß dieser Strom dem Hauptstrome gleichgerichtet ist, sind nicht streng beweisend. Die Versuche, die anfangs constante Resultate gegeben hatten, zeigten bei einer Wiederholung, damals nicht zu erklärende, Abweichungen ¹⁾, indem von demselben Ende des Nebendrahtes bald die eine, bald die andere Elektrizitätsart abgegeben wurde. Diefes ist nach meinen neueren Untersuchungen über die Seitenentladung erklärlich, welchen zufolge dem Nebenstrome stets eine Seitenentladung vorangeht ²⁾, die in folgender Weise leicht aufzuzeigen ist. Ich schaltete eine kleine Inductionsscheibe so in den Hauptbogen ein, daß der Hauptstrom in die Mitte der Spirale eintrat; von der Mitte der ihr nahestehenden Nebenspirale wurde ein Draht zu der einen Kugel des Funkenmikrometers geführt, dessen zweite Kugel durch einen 160 Zoll langen Draht mit dem Knopfe eines Elektroskops verbunden war (Fig. 10.). Es wurde die Seitenschlagweite bestimmt, indem zu gegebenen Entfernungen der Mikrometerkugeln die kleinsten Elektrizitätsmengen gesucht wurden, die aus drei Flaschen entladen, einen Funken im Mikrometer hervorbrachten.

Seitenschlagweite.	Elektricitätsmenge q		$q = b\sqrt{x}$
x	beobachtet.	berechnet.	b
0,1 Lin.	5	5	
0,2	7	7	
0,4	10	9,9	15,7.

Die Versuche stimmen vollkommen mit der Formel. Wurde der Seitendraht statt an der Mitte der Nebenspirale an deren Enden befestigt, so erhielt man die Seitenschlagweite von 0,1 Lin. erst bei der Elektricitätsmenge 18, nach dem Gesetze der Seitenentladung, die desto geringer seyn soll, je weiter man sich mit dem Aste von dem Innern der Batterie entfernt. Die Batterie war mit positiver Elektricität geladen und das Elektroskop divergirte nach jeder

1) Repertor. d. Physik Bd. 6, S. 233.

2) Pogg. Ann. Bd. 76, S. 490.

Entladung mit derselben Elektrizität, so daß der Seitenstrom von m nach r , von der Nebenspirale zum Seitendrahte gerichtet war.

§. 34.

Der Seitenstrom ist zu schwach, um eine Erwärmung des Thermometers hervorzubringen. Selbst als die kleine Spirale mit der großen, von 53 Fufs Drahtlänge, vertauscht war, zeigte ein empfindliches Thermometer, in den Seitendraht eingeschaltet, bei der Elektrizitätsmenge 20 keine Spur von Erwärmung. Es wurde nun der Seitendraht von dem Elektroskope gelöst, und mit dem Ende der Nebenspirale verbunden (Fig. 11.); hierdurch war eine unterbrochene secundäre Schließung entstanden (die Unterbrechung betrug 0,1 Linie), in der ein eingeschaltetes Thermometer einen starken Nebenstrom anzeigte.

Ich erhielt nämlich durch die

Elektrizitätsmengen	6	8	10
Erwärmungen	10,2	17,2	28.

Hiernach müßte eine Elektrizitätsmenge 20 eine Erwärmung von 110 Linien erzeugen, statt welcher, als der Seitendraht noch nicht mit der Nebenspirale zusammenhing, keine Spur von Erwärmung bemerkt wurde. Diefß zeigt, daß von den zwei gleichzeitig im Drahte stattfindenden Erscheinungen, dem Seitenstrom und dem Nebenstrom, der erste viel schwächer ist als der zweite. Wenn hingegen, in den oben angeführten Versuchen, an die Kugel m (Fig. 11.), ein Condensator angelegt und damit die Schließung dauernd unterbrochen war, so wurde dadurch der Nebenstrom so geschwächt, daß er dem Seitenstrom an Stärke gleichkommen konnte. Dadurch wird es erklärlich, wenn von m bald positive, bald negative Elektrizität aufgefangen wurde, da bald der Seitenstrom bald der Nebenstrom diese Ladung bewirkte. Es könnte sogar daraus, daß von m nicht immer positive Elektrizität, die dem Seitenstrom entspricht, sondern zuweilen auch negative Elektrizität abgegeben wurde, geschlossen werden,

dafs der Nebenstrom dem Seitenstrom entgegenläuft, wodurch der Nebenstrom als gleichlaufend dem Hauptstrom aufgezeigt würde. Doch ist dieser Schluss nicht bündig, da ich gezeigt habe¹⁾, dafs der Condensator auch bei Anbringung von nur Einer Elektrizitätsart, Zeichen entgegengesetzter Elektrizität geben kann.

§. 35.

Ich hatte, als zwischen die Enden m und r (Fig. 11.) einer unterbrochenen Nebenschließung eine Pechplatte gestellt war und die Flächen dieser Platte nach der Entladung mit Schwefel und Mennige bestäubt wurden, zwei verschiedene Staubfiguren erhalten; auf der Fläche, die an m angelegen hatte, eine rothe Scheibe von einem gelben Strahlenkranze umgeben, auf der Fläche an r einen rothen Ring, der gelbe krause Züge umgab. Nach den Versuchen am Condensator und der danach gemachten Annahme eines mit dem Hauptstrom gleichlaufenden secundären Stromes wurde die Strahlenfigur als Merkmal der negativen Elektrizität des Nebenstroms, die Ringfigur als Zeichen der positiven genommen, so dafs der Strom, wenn er vollständig war, von der Ringfigur zur Strahlenfigur gehen mußte. — Es wurden jetzt Staubfiguren im tertiären Bogen erzeugt (Fig. 12.), und eine Strahlenfigur an dem Ende m' , eine Ringfigur an r' erhalten; hiernach müßte der tertiäre Strom von r' nach m' gehen, also dem Hauptstrom entgegengerichtet seyn, was nach §. 32. erweislich falsch ist. Schon nach dem §. 34. ist es klar, dafs bei den Staubfiguren der Nebenstrom und der Seitenstrom zusammen wirken, und aus dem eben erwähnten Versuche folgt, dafs der Strahlenkranz, das Unterscheidungszeichen der beiden Figuren, der Seitenentladung allein zugehört. Die Richtung der Seitenentladung ist stets durch die Ladung der Batterie gegeben, sie ging in diesen Versuchen, bei welchen die Batterie mit positiver Elektrizität geladen war, in dem secundären Bogen von m nach r , in dem tertiären von m' nach r' , so

1) Repertorium der Physik Bd. 6, S. 234.

dafs der Strahlenkranz, für sich stets ein Zeichen positiver Elektrizität, nothwendig an m und m' entstehen mußte. Es war leicht, die Seitenentladung im tertiären Bogen durch das Funkenmikrometer aufzuzeigen in den folgenden Versuchen, die zugleich eine Vergleichung der Schlagweiten im secundären und tertiären Bogen geben.

§. 36.

Es wurden vier ebene Spiralen von 53 Fufs Drahtlänge gebraucht. Die secundäre Nebenspirale war an dem Ende, das dem Innern der Batterie zunächst lag, durch einen Draht mit der secundären Hauptspirale verbunden, von dem entsprechenden Ende der tertiären Nebenspirale ein Draht zu einer Kugel des Mikrometers geführt und an der zweiten Kugel ein isolirter 53 Fufs langer Draht befestigt (Fig. 13.). Bei dieser Anordnung wurde die Schlagweite im tertiären Drahte untersucht. Zur Untersuchung der Schlagweite im secundären Bogen wurde das Funkenmikrometer an die Stelle mr gesetzt und seine frühere Stelle durch einen kurzen Draht ausgefüllt. Es wurden drei Flaschen der Batterie benutzt.

Schlagweiten im secundären Bogen.			$q = b\sqrt{x}$ b
Schlagweite. x	Elektricitätsmenge		
	beobachtet.	berechnet.	
0,1 Lin.	6	5,5	
0,2	8	7,8	
0,4	10	11	
0,6	13	13,4	
0,8	15	15,5	
1,0	18	17,4	17,4
Im tertiären Bogen:			
0,1	6	6,0	
0,2	9	8,4	
0,4	12	11,9	
0,6	14	14,5	
0,8	16	16,8	
1,0	19	18,8	18,8.

Als die Drähte statt an den, dem Innern der Batterie nächsten Enden der Spiralen, an den entferntesten Enden befestigt waren (in Fig. 13. an *c* und *d*), wurde im tertiären Bogen bei der Elektrizitätsmenge 24 noch nicht eine Schlagweite von 0,1 Linie erreicht. Die Versuche entsprechen also ganz den Gesetzen der Seitenentladung und zeigen, daß ein getrennter Ast (*mref*) auch an einer Stelle (*e*) unterbrochen seyn darf, ohne jene Gesetze zu stören.

§. 37.

Die Seitenentladung, die jeden Nebenstrom begleitet, bestimmt den Erfolg eines Versuches auch in einem Falle, in welchem die Ströme höherer Ordnung vollständig und daher viel stärker sind als der Seitenstrom. Diefs geschieht bei Anstellung des Lullin'schen Versuches in einem Nebenbogen, den Matteucci nach Pacinottis Vorschlag zur Erkennung der Richtung der Nebenströme benutzt hat. Ich richtete drei Nebenschließungen vor (Fig. 14.), die in einzelnen Versuchen an einer Stelle *ab* unterbrochen wurden. Die Lücke wurde durch ein Papierstück ausgefüllt, auf dessen entgegengesetzte Flächen zwei Stanniolstreifen geklebt waren, deren Spitzen etwa $1\frac{1}{2}$ Lin. von einander entfernt blieben. Das Papier, in welcher der drei Schließungsbogen es sich befinden mochte, wurde an der mit dem Ende *b* verbundenen Stanniolspitze durchbohrt, welches Ende dadurch als das negative bezeichnet wird, wie es, bei der angewandten Ladung der Batterie mit positiver Elektrizität, die Richtung der Seitenentladung verlangte. Diese Seitenentladung war viel zu schwach, um für sich das Papier zu durchbohren. Als je zwei zu einem Bogen gehörige Spiralen nur durch Einen Draht verbunden waren und an der letzten Spirale ein langer Seitendraht angebracht war (Anordnung der Fig. 13.), erschien, und zwar bei viel stärkern Ladungen der Batterie als früher gebraucht worden, ein kleiner Funke auf dem Papiere an der Spitze *b*, ohne das Papier sichtlich zu verletzen. Der frühere Versuch bietet daher ein artiges Corollar des Satzes,

nach welchem ein Nebenstrom durch eine Lücke nur dann übergehen kann, wenn ihm eine Seitenentladung vorgegangen ist. Obgleich der Nebenstrom, der das Papier durchbohrte, um Vieles stärker war, als die Seitenentladung, so vermochte er das Papier dennoch nur an der Stelle zu durchbohren, die der Richtung der Seitenentladung entsprach.

§. 38.

Bei den directen Versuchen über die Richtung der Ströme bleibt es durch Dazwischenkunft der Seitenentladung zweifelhaft, ob die Richtung des secundären Stromes der des Hauptstromes gleich oder entgegengesetzt ist. Eine theoretische Betrachtung macht aber die erste Annahme sehr wahrscheinlich. — Wir haben gesehen, dafs der Hauptstrom durch *U*-Form seines Schließungsbogens verstärkt, durch *N*-Form geschwächt und dieser Erfolg durch einen im Schließungsbogen selbst erregten secundären Strom herbeigeführt wird. Die Wirkung des secundären Stromes auf den Hauptstrom ist zwiefach: aus der Ferne, indem der in dem einen Schenkel des Bogens erregte Strom auf den Hauptstrom im andern Schenkel wirkt, und in unmittelbarer Nähe, indem der secundäre Strom auf den Hauptstrom wirkt, der sich mit ihm in demselben Schenkel bewegt. Es ist klar, dafs die zweite Wirkung die bei Weitem stärkere ist und allein den Unterschied zwischen der *U*- und *N*-Form bedingt, da die Wirkung in die Ferne bei beiden Formen gleichen Erfolg haben mufs. Der Hauptstrom läfst sich aber noch in anderer Weise, als durch die *N*-Form seines Bogens, und zwar in nicht geringerem Maafse schwächen, nämlich dadurch, dafs ein zweiter Draht dem Hauptdrahte parallel gelegt und in passender Weise geschlossen wird. In diesem Nebendrahte tritt ein secundärer Strom auf, der in dem Hauptdrahte einen tertiären Strom erregt. Auch hier finden zwei Wirkungen statt, eine aus der Ferne von dem secundären Strom auf den Hauptstrom, und eine in unmittelbarer Nähe, ausgeübt von dem tertiären Strom auf

den Hauptstrom, der mit ihm in dem Hauptdrahte fließt. Bei der großen Schwächung des Hauptstromes, die in dieser Weise erhalten werden kann (z. B. von 100 auf 14)¹⁾, ist eine große Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden, daß der tertiäre Strom an dieser Schwächung Antheil hat. Der tertiäre Strom ist aber nach §. 32. unzweifelhaft mit dem Hauptstrome von gleicher Richtung und es folgt daher, daß ein tertiärer Strom, der mit dem Hauptstrome in einem Drahte in derselben Richtung fließt, diesen Strom schwächt. Läßt man diesen Satz, der durch die bekannte Erfahrung gestützt wird, daß zwei gleichlaufende Ströme einander anziehen, auch für den secundären Strom gelten, so folgt aus der Schwächung des Hauptstromes durch die *N*-Form seines Bogens die gleiche Richtung des secundären Stromes mit dem Hauptstrome. Eine Vergleichung der *N*-Form mit der *U*-Form und der davon abhängigen Aenderung eines Stromes irgend einer Ordnung führt dann zu dem allgemeinen Satze: *Wenn in einem Drahte ein elektrischer Strom sich zugleich mit einem von ihm erregten Nebenchleife bewegt, so wird der Strom verstärkt, wenn beide Ströme in entgegengesetzter und geschwächt, wenn sie in gleicher Richtung fließen.*

§. 39.

Dieser Satz, der nur als hypothetisch gelten kann, hat keinerlei Erfahrung gegen sich. Daß Ströme gleicher Richtung, die in demselben Drahte fließen, sich verstärken, ungleicher Richtung sich schwächen, ist allein von Strömen derselben Ordnung aufgezeigt worden und aus der Betrachtung der in beiden Strömen bewegten Elektrizitätsmengen leicht erklärlich. Daß bei den §. 38. aufgeführten Fällen die Elektrizitätsmengen nicht in Betracht kommen können und die *Entladungszeit* allein den Erfolg herbeiführen kann, geht aus der Erscheinung eines Maximum der Schwächung durch Verlängerung einer Nebenschleifung unwiderleglich hervor. Wollte man annehmen, daß die Entladungszeit eines

1) Pogg. Ann. Bd. 51, S. 191.

Stromes durch die Nähe eines ihm entgegenlaufenden Stromes verlängert würde, so wäre dieß nicht mit der Erfahrung zu vereinigen, nach welcher zwei einander entgegenlaufende Ströme einander abstossen. Eine gleiche Richtung des secundären Stromes mit dem Hauptstrome wird durch directe Versuche über die Richtung nirgends widerlegt, da der Grund aufgezeigt worden ist, weshalb jene Versuche die Richtung eines Nebenzstromes nicht unzweideutig angeben können. Was hier von den Strömen zweiter bis fünfter Ordnung dargelegt worden, läßt sich ohne Bedenken auch auf weitere Ordnungen ausdehnen, so daß das Endresultat des letzten Abschnittes auszusprechen ist: *Es ist ausgemacht, daß die Ströme dritter, fünfter und überhaupt ungerader Ordnung, dem Hauptstrome gleichgerichtet sind, und daß die Ströme zweiter, vierter und überhaupt gerader Ordnung eine unter sich gleiche Richtung haben. Sehr wahrscheinlich ist auch diese letzte Richtung der des Hauptstromes gleich, so daß alle Ströme höherer Ordnung dem Hauptstrome gleichgerichtet sind.*

II. *Ueber die Vertheilung des Magnetismus in Stahlstäben und die Maafsbestimmung der magnetischen Intensität durch die Kraft, womit ein weiches Eisenstück angezogen wird;*
von Dr. Lamont.

(Der physikalischen Gesellschaft zu Berlin mitgetheilt am 28. März 1851.)

Das älteste, zugleich auch das einfachste und natürlichste Mittel die Kraft eines Magnets zu messen, besteht darin, daß man untersucht, wie viel Gewicht nöthig ist, um ein Stück weiches Eisen davon loszureißen. Unterdessen giebt es dabei so viele Umstände, die nicht wohl in Rechnung genommen werden können (wozu namentlich die Beschaf-

fenheit der Oberflächen gehört), daß man längst schon darauf verzichtet hat, auf diesem Wege *genaue* Resultate herstellen zu wollen.

Verschiedene Physiker haben versucht durch andere Mittel zum Zwecke zu gelangen; ob aber die Ergebnisse von der Art sind, daß sie nicht beanstandet werden könnten, ist eine Frage, welche wahrscheinlich nicht von Allen bejahend beantwortet werden würde.

Als ich vor einigen Jahren, aus Anlaß der an der hiesigen Sternwarte veranstalteten magnetischen Beobachtungen, anfang mich mit diesem Gegenstande zu beschäftigen, erkannte ich sogleich den großen Einfluß der Induction. Ein kleiner Magnet mit dem man die Stärke eines magnetisirten Stahlstabes untersuchen will, hat eine andere Kraft wenn man ihn dem Pole nähert und eine andere, wenn man ihn an eine Stelle weiter gegen die Mitte bringt. Nach genauer Erwägung der verschiedenen Umstände kam ich zu dem Resultate, daß man nicht durch die *Kraft*, sondern durch die *Richtung* welche ein kleiner Magnet, an verschiedenen Stellen ganz nahe an einen Magnetstab gebracht, annimmt, die Vertheilung des Magnetismus im Stabe bestimmen müsse. Die Richtung ist nämlich von der Induction unabhängig. Ich hing deshalb eine kleine Nadel von etwa 4 Linien Länge an einem Coconfaden auf, befestigte an die Nadel unten einen zweiten Coconfaden von gleicher Länge wie der obere; das untere Ende des zweiten Fadens wurde angezogen und befestigt. Die zwei Fäden trafen so nahe als möglich mit der verticalen Linie zusammen, welche durch den Schwerpunkt der Nadel ging. Das ganze war in eigenthümlicher Weise so aufgestellt, daß man die Richtung der Nadel mit hinreichender Genauigkeit ablesen konnte.

Mit dieser Vorrichtung machte ich in Gemeinschaft mit Hrn. Prof. Kuhn vor drei Jahren mehrere Versuchsreihen; die Arbeit ist indessen noch nicht beendet worden. In neuester Zeit hatte ich sie eben wieder angefangen und meinen Apparat modificirt, indem ich die Nadel nach der

von Dent für Seecompassen angegebenen Weise einrichtete, als ich die vortreffliche Arbeit des Hrn. vom Kolke in Bd. 81 dieser Annalen S. 321 zu Gesicht bekam, wo die Vertheilung des Magnetismus durch die Gewichte, die erfordert werden um ein Stück weiches Eisen loszureißen, bestimmt wird. Ich fand mich dadurch veranlaßt, einige Versuche in ähnlicher Weise anzustellen und überzeugte mich bald, daß, wenn gleich nur ein mäßiger Grad von Genauigkeit zu erreichen ist, dennoch die Methode zu gewissen Untersuchungen mit Vortheil angewendet werden kann. Ich beabsichtige in dem gegenwärtigen ersten Aufsätze ein Paar Resultate mitzutheilen, hauptsächlich nur um die Grundsätze und das Verfahren anzudeuten, die nach meiner Ansicht bei solchen Messungen zu befolgen seyn möchten.

Von der Vorrichtung, die ich anwende, wird Folgendes eine Idee geben.

Man hänge einen Faden auf, der am untern Ende ein Gewicht p trägt. Etwas oberhalb des Gewichtes sey an dem Faden ein kleines Eisenstückchen, dessen Gewicht $= q$, befestigt. Man bringe einen Magnetstab zu dem Eisenstückchen hin, so wird es sich anhängen und man wird den Magnet um eine gewisse Gröfse zurückschieben oder überhaupt von der Lothlinie entfernen können, bis das Eisen vom Magnete sich trennt, dieses Zurückschieben muß natürlich im Kreisbogen geschehen, so zwar, daß der Magnet immer gleiche Distanz vom Aufhängungspunkte des Fadens behalte. Anstatt den Magnet zu bewegen, kann man eben so gut den Suspensionspunkt beweglich machen (etwa mittelst einer Schraube) und dies ist die von mir angewendete Einrichtung.

Macht der Faden, im Augenblicke des Losreißens, mit der Lothlinie, d. h. mit der Richtung, die er nach dem Losreißen annimmt, den Winkel u und setzt man das Gewicht des Fadens $= f$, so ist das zum Losreißen angewendete Gewicht

$$= (p + q + f) \sin u.$$

Am

Am bequemsten habe ich es gefunden, nach dem Losreißen die Entfernung des Eisenstückchens von der Fläche des Magnets, wovon es sich eben losgetrennt hat, zu messen. Kennt man diese Entfernung s und die des Eisenstückchens vom Suspensionspunkte r , so hat man

$$s = r \sin u,$$

folglich das zum Losreißen erforderliche Gewicht

$$P = \frac{p + q + f}{r} s.$$

Um die Anziehung zwischen dem Eisenstückchen und dem Magnetstabe zu berechnen, müssen wir vor Allem präzise Begriffe über die Einwirkung eines Magnetstabes auf das weiche Eisen feststellen.

Es finden hier drei Momente statt:

Erstens wird eine gewisse Quantität positiven Magnetismus und eine ebenso große Quantität negativen Magnetismus im Eisen frei gemacht.

Zweitens zieht sich der positive Magnetismus gegen das eine, der negative gegen das andere Ende hin und das Eisen wird ein Magnet, wobei die Menge des in jedem Theilchen vorhandenen Magnetismus eine Function der Entfernung von der Mitte ist.

Drittens wird das auf solche Weise in einen Magnet verwandelte Eisen vom Magnetstabe angezogen.

Ich nehme an, daß der Magnetstab sowohl als das Eisen, wenn es magnetisirt ist, aus unendlich vielen Elementar-Magneten bestehe, die mit den entgegengesetzten Polen im Innern überall zusammenstoßen, so daß im Innern der Magnetismus vollständig *neutralisirt* ist und nur an der Oberfläche sich zeigt.

Ich werde diesen Punkt in einem künftigen Aufsätze näher besprechen, bemerke übrigens, daß wenn die angenommene Hypothese auch nicht begründet wäre, die von mir in dem Folgenden beabsichtigten und erzielten Resultate dennoch ihre volle Gültigkeit behalten würden.

Dies vorausgesetzt, wollen wir die oben angegebenen Momente näher entwickeln.

Was zuerst die im Eisen frei werdende oder erregte Quantität Magnetismus betrifft, so nehme ich sie als der erregenden Kraft einfach proportional an. Wenn demnach dm ein Element der Oberfläche des Stabes, Xdm den Magnetismus dieses Elements, dm' ein körperliches Element des weichen Eisens bezeichnet und die Distanz zwischen dm und $dm' = \varrho$, die Neigung der Linie ϱ gegen die im Eisen sich bildende magnetische Axe $= \alpha$ gesetzt wird, so ist die erregende Kraft

$$= \int \frac{UX dm dm'}{\varrho^2} \cos \alpha,$$

wo UX den durch X im Eisen erregten Magnetismus bedeutet.

Wäre das Eisen vollkommen inductionsfähig, so hätte man $U =$ einer Constante A . Indessen verhält es sich bekanntlich mit der Inductionsfähigkeit des Eisens wie mit der Elasticität der in der Natur vorkommenden festen Körper, wo eine doppelte Kraft weniger als die doppelte Wirkung hervorbringt und das Verhältniß zwischen Kraft und Wirkung immer kleiner wird, je mehr die Kraft zunimmt.

Diesem zufolge wird man U durch eine nach den Potenzen von X steigenden Reihe ausdrücken müssen, d. h. man hat

$$U = A(1 + aX + bX^2 + \dots)$$

Die Integration ist auf die ganze Masse des Eisens und auf die ganze Oberfläche des Magnetstabes auszudehnen. Das Integral wollen wir $= V$ setzen; dem Obigen zufolge bezeichnet V die Menge positiven oder negativen Magnetismus, die im Eisen frei wird.

Was die Vertheilung dieser Quantität im Eisen betrifft, so nehme ich an, daß die Intensität von der Mitte aus gegen den Nordpol und Südpol gleichmäßig, d. h. der Entfernung von der Mitte direct proportional zunehme.

Ist das Eisenstückchen ein Cylinder von der Länge λ , so entspricht der Distanz u vom Ende die Intensität

$$= 8V \frac{\frac{1}{2}\lambda - u}{\lambda^2}$$

und die Kraft womit das Eisen vom Magnetstabe angezogen wird, ist

$$= 8 \int V X \frac{(\frac{1}{2}l - u) du dm}{l^2 \varphi^2} \cos \alpha.$$

Die Anwendung obiger Formeln kann zunächst sehr vereinfacht werden, wenn man X bei der Integration als constant betrachtet. In der Wirklichkeit nimmt X von der Mitte oder vielmehr von dem magnetischen Indifferenzpunkt an gegen die beiden Enden hin immer zu, indessen muß man bedenken, daß bei der Integration nach dm nur ein ganz kleiner Umkreis zu berücksichtigen ist und die entferntern Elemente keinen Einfluß mehr ausüben. Gebraucht man nun in diesem Umkreise den Werth von X , welcher der Mitte entspricht, so ist dieser Werth in der einen Hälfte etwas zu groß, in der andern um eben so viel zu klein und das Resultat, welches man erhält, wird richtig seyn.

Unter dieser Voraussetzung erhält man für die Kraft, womit das Eisenstückchen an einer bestimmten Stelle O des Magnets angezogen wird, einen Ausdruck von der Form:

$$K^2 X^2 (1 + aX + bX^2 + \dots),$$

wo K^2 eine Function gewisser Dimensionen des Magnetstabes und des Eisenstückchens seyn wird.

Dieser Ausdruck bezeichnet zugleich die Kraft, welche erfordert wird, um das Eisenstückchen loszureißen, und somit hat man

$$K^2 X^2 (1 + aX + bX^2 + \dots) = P.$$

Daraus ergibt sich endlich

$$X = \frac{1}{K} \sqrt{P} (1 + a' \sqrt{P} + b' P + \dots).$$

Hätte demnach das Eisenstückchen *vollkommene* Inductionsfähigkeit, so würde die magnetische Kraft an verschiedenen Punkten eines Magnetstabes der *Quadratur* aus dem zum Losreißen erforderlichen Gewichte proportional seyn; in der Wirklichkeit muß noch eine Correction, die nach Umständen mehr oder weniger beträchtlich seyn wird, hinzugefügt werden.

Ich will nun zeigen, wie man diese Correction bestimmen könne.

Man theile einen Magnetstab von der Mitte anfangend in $2n$ gleiche Theile und bestimme die zum Losreißen eines Eisenstückchens erforderlichen Gewichte $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$ gegen den Nordpol und $P_{-1}, P_{-2}, \dots, P_{-n}$ gegen den Südpol. Die entsprechenden Intensitäten seyen $X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$ und $X_{-1}, X_{-2}, \dots, X_{-n}$.

Ist, wie hier vorausgesetzt wird, die Zahl der Theile ziemlich groß, so läßt sich das magnetische Moment M des Stabes einfach durch folgende Formel berechnen:

$$M = \Sigma(m + \frac{1}{2}) X_m + \Sigma(\frac{1}{2}m + \frac{1}{3}) \Delta X_m,$$

wobei die Summen von $m = 0$ bis $m = +n - 1$ und von $m = 0$ bis $m = -n + 1$ zu nehmen sind, und $\Delta X_m = X_{m+1} - X_m$ gesetzt ist.

Substituirt man in diesen Ausdruck anstatt X_m seinen Werth $\frac{1}{K} (\sqrt{P_m} + a' P_m + \dots)$ und bezeichnet man die Summe

$$\Sigma(m + \frac{1}{2}) \sqrt{P_m} + \Sigma(\frac{1}{2}m + \frac{1}{3}) \Delta \sqrt{P_m} \text{ mit } Y_0$$

$$\Sigma(m + \frac{1}{2}) P_m + \Sigma(\frac{1}{2}m + \frac{1}{3}) \Delta P_m \text{ mit } Y_1 \text{ u. s. w.}$$

so ergibt sich

$$M = \frac{1}{K} (Y_0 + a' Y_1 + b' Y_2 + \dots)$$

Nun kann man aber M auch auf eine andere Weise bestimmen, nämlich durch die Ablenkung, welche der Magnetstab an einer frei hängenden Declinationsnadel in einer gegebenen Lage und Entfernung hervorbringt und zwar hat man, wenn die Entfernung ziemlich groß, mithin der Ablenkungswinkel klein ist und mit φ bezeichnet wird, $M = B\varphi$ wo B eine bekannte Function der Lage und Distanz des Stabes u. s. w ist; hieraus ergibt sich

$$KB\varphi = Y_0 + a' Y_1 + b' Y_2 + \dots$$

Diese Formel kann man auf zweierlei Weise zur Bestimmung von a', b', \dots benutzen; entweder magnetisire man denselben Stab wiederholt und mit verschiedener Stärke

und bestimme $Y_0, Y'_0, Y''_0 \dots Y_1, Y'_1, Y''_1 \dots \varphi, \varphi', \varphi'' \dots$
so hat man

$$\frac{\varphi}{\varphi'} = \frac{Y_0 + a' Y_1 + b' Y_2 + \dots}{Y'_0 + a' Y'_1 + b' Y'_2 + \dots}$$

$$\frac{\varphi}{\varphi''} = \frac{Y_0 + a' Y_1 + b' Y_2 + \dots}{Y''_0 + a' Y''_1 + b' Y''_2 + \dots} \text{ u. s. w.}$$

oder man nehme mehrere Magnetstücke von gleicher Form und Gröfse aber ungleicher magnetischer Kraft, so erhält man wiederum ähnliche Gleichungen wie die eben gefundenen.

Zur Erläuterung des Verfahrens lasse ich hier zwei Reihen von Messungen folgen, die an zwei 4pfündigen Magnetstäben von gleicher Form (von Meyerstein in Göttingen verfertigt) mit dem Anfangs beschriebenen Apparate gemacht wurden. In diesem Falle erhält man nur *eine* Gleichung, wodurch die Constante a' bestimmt werden kann.

Das weiche Eisen war ein Cylinder von 6^{'''},5 Länge und 1^{'''},9 Durchmesser, an den Enden kugelförmig abgerundet. Die Stäbe wurden in 12 Theile getheilt und die Messungen an den zwei schmalen Seitenflächen (Seite *A* und Seite *B*) vorgenommen, dann aus beiden das Mittel genommen. Die Messung wurde in der Mitte des Stabes angefangen und nach einer bestimmten Richtung um den ganzen Stab herum fortgesetzt, so dafs in den Mitteln für P der nach einer Messung im Eisen etwa zurückbleibende Magnetismus eliminirt wird. Die hier gegebenen Zahlen hat man mit 0,173 zu multipliciren, wenn man sie in Gramme verwandeln will.

Stab No. I.

Theilstrich.	Werth von P.		Mittel für P.
	Seite A.	Seite B.	
+ 6	370,2	423,7	397,0
+ 5	67,4	79,3	73,3
+ 4	37,2	59,5	48,3
+ 3	22,0	40,4	31,2
+ 2	12,3	19,0	15,6
+ 1	6,2	16,2	11,2
Mitte 0	0,3	2,6	1,4
- 1	0,8	0,8	0,8
- 2	5,1	7,3	6,2
- 3	21,8	22,5	22,1
- 4	58,8	77,2	68,0
- 5	101,9	93,5	97,7
- 6	311,5	359,1	335,3

Ablenkung $\varphi = 36',2$.

Stab No. II.

Theilstrich.	Werth von P.		Mittel
	Seite A.	Seite B.	
+ 6	733,0	841,9	787,5
+ 5	184,9	195,9	190,4
+ 4	67,2	66,0	66,6
+ 3	52,8	57,2	55,0
+ 2	25,1	35,6	30,3
+ 1	12,2	16,1	14,1
Mitte 0	4,4	5,6	5,0
- 1	1,1	0,5	0,8
- 2	11,6	7,3	9,4
- 3	42,3	33,8	38,0
- 4	96,9	81,8	89,3
- 5	203,1	255,0	229,1
- 6	603,2	658,2	630,7

Ablenkung $\varphi = 58',9$.

Mit diesen Zahlenwerthen erhält man zur Bestimmung von a' die Gleichung

$$\frac{58,9}{36,2} = \frac{428,2 + 7114,6 a'}{309,0 + 3610,5 a'}$$

und hieraus ergibt sich

$$a' = +0,05827$$

dann folgende Werthe der Intensität X.

Intensität X .

Theilstrich.	Stab No. I.	Stab No. II.
+ 6	+ 24,3	+ 47,5
+ 5	+ 4,8	+ 11,9
+ 4	+ 3,2	+ 4,4
+ 3	+ 2,1	+ 3,6
+ 2	+ 1,1	+ 2,1
+ 1	+ 0,8	+ 1,0
Mitte 0	+ 0,1	+ 0,4
— 1	— 0,1	— 0,1
— 2	— 0,5	— 0,7
— 3	— 1,6	— 2,6
— 4	— 4,4	— 5,8
— 5	— 6,3	— 14,2
— 6	— 20,6	— 38,3

Aus dem Obigen ist zu ersehen, daß P immer kleiner ist als $K^2 X^2$, d. h. daß die Intensität X im weichen Eisen nicht eine direct proportionale Quantität Magnetismus hervorruft, sondern diese Quantität verhältnißmäßig geringer wird je größer X ist, was ganz mit den sonst bekannten Verhältnissen übereinstimmt.

Es versteht sich übrigens wohl von selbst, daß die gefundene Formel nur für kleine Werthe von P , wie sie in obigem Beispiele vorkommen, gültig ist. Auch muß noch bemerkt werden, daß, wenn man größere Eisenstücke anwenden wollte, der im Eisen inducirte Magnetismus wiederum den Magnetismus des Stabes durch Induction vermehren könnte, so, daß möglicher Weise P auch größer werden könnte als $K^2 X^2$; hieraus folgt aber zugleich, daß man zur Bestimmung des Magnetismus nach obiger Methode nur kleine Eisenstücke anwenden darf.

Auffallend ist in obigem Beispiele die große Zunahme des Magnetismus gegen die Enden hin; einige Analogie damit scheint auch die sonst bekannte Thatsache zu haben, daß gegen die Kanten die Kraft am größten ist. Da kein Grund in der Natur der magnetischen Kraft liegt, warum an den Kanten der Magnetismus sich vorzugsweise anhäufen soll, so kam ich auf die Vermuthung, es möchte die Zunahme gegen die Kanten nur eine *scheinbare* seyn, ver-

anlaßt dadurch, daß da wo zwei Flächen zusammenstoßen, die oben angeführten Integrale größer sind, ohne daß X selbst größer wäre.

Die deshalb unternommenen Rechnungen und Experimente haben mir die Ueberzeugung gewährt, daß meine Vermuthung begründet war.

Zur völligen Entwicklung der Verhältnisse sind indessen neue Einrichtungen und neue Experimente nöthig, deren Herstellung noch geraume Zeit erfordert, und ich muß demnach das Weitere einer künftigen Mittheilung vorbehalten.

München, den 14. März 1851.

III. *Ueber die Vertheilung des Magnetismus in Stahlstäben und die Maafsbestimmung der magnetischen Intensität durch die Kraft, womit ein weiches Eisenstück angezogen wird;* *von Dr. Lamont.*

(Zweiter Aufsatz.)

Will man die normale Vertheilung des Magnetismus in Stahlstäben festsetzen, so genügen die in meinem ersten Aufsätze enthaltenen Versuche nicht, weil, wie leicht zu ersehen, in den Stäben selbst beträchtliche Unregelmäßigkeiten vorkommen. Ich habe deshalb neue Experimente vorgenommen, wovon hier die Resultate mitgetheilt werden sollen; vorher aber wird es zweckdienlich seyn, eine Modification darzulegen und näher zu erläutern, welche an einem von mir früher aufgestellten Satze angebracht werden muß.

Ich hatte nämlich bei den ersten Berechnungen zur Vereinfachung der Ausdrücke angenommen, daß wenn man

ein weiches Eisenstück einem Magnete nähert, die beiden magnetischen Fluida im Eisen sich trennen und der nördliche Magnetismus die eine, der südliche die andere Hälfte des Eisens einnehme. Nun ist es aber bekannt, daß schon in den gewöhnlichen Inductionsfällen die beiden magnetischen Fluida sich nicht symmetrisch im Eisen vertheilen und der Indifferenzpunkt nicht mit der Mitte der Figur zusammenfällt. Dieser Umstand hat nun zwar auf die in meine ersten Aufsätze dargestellten Resultate keinen Einfluß und konnte dort unbeachtet gelassen werden, erfordert aber bei weiterer Fortsetzung der Untersuchung die nöthige Rücksicht.

Ich habe versucht Regeln zu ermitteln, nach welchen man bestimmen könnte, wo der Indifferenzpunkt bei einem Cylinder von weichem Eisen entsteht. Ich liefs zu diesem Zwecke einen Cylinder von ungefähr 3 Linien Dicke und 3, 6 und 9 Zoll Länge herstellen, brachte sie in die Nähe eines 4pfündigen Magnets und untersuchte mit einer ganz feinen Nadel die Stellung des Indifferenzpunktes bei verschiedenen Distanzen zwischen Magnet und Eisenstab. Das Ergebnis war, daß der Indifferenzpunkt sehr veränderlich ist; immer fällt er gegen dasjenige Ende hin, wo sich der Magnet befindet und zwar entfernt sich der Indifferenzpunkt von der Mitte der Figur in dem Maasse, als man das Eisen dem Magnete nähert. Ist das Eisen mit dem Magnete in Berührung, so trifft der Indifferenzpunkt ganz nahe an das Ende, aber wiederum sehr variabel, denn ich fand die Distanz vom Ende bisweilen $\frac{1}{4}$, bisweilen $\frac{1}{2}$, bisweilen $\frac{3}{4}$ Zoll. Die Länge der Eisenstücke schien wenig Einfluß zu haben. Ich versuchte dann ferner bei ganz kurzen Eisenstäbchen ($\frac{1}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll Länge), wenn sie in Berührung mit einem starken Magnete waren, den Indifferenzpunkt zu ermitteln und fand ihn so nahe am Ende, daß eine genaue Bestimmung nicht mehr zu erzielen war. Ich schloß hieraus, daß, da ich zur Untersuchung der Kraft der Magnete nur ganz kurze Cylinder anwende, es gestattet seyn würde, bei der Rechnung vorauszusetzen, daß der

eine Magnetismus sich vollständig an demjenigen Endpunkte, welcher mit dem Magnete in Berührung steht, concentrirte, während der andere Magnetismus von diesem Endpunkte an bis zum entgegengesetzten Ende stetig zunehme.

Wird im Allgemeinen angenommen, daß die Entfernung des Indifferenzpunktes von demjenigen Ende, welches am Magnetstabe anliegt = β sey, so verwandeln sich die im I. Aufsatze gegebenen Formeln in folgende:

$$V = \int \frac{UX dm dm'}{q^2} \cos \alpha$$

$$P = 2 \int \frac{(\beta - u) \cdot V X du dm}{\beta^2 q^2} \cos \alpha + 2 \int \frac{(\beta - u) V X du dm}{(\alpha - \beta)^2 q^2} \cos \alpha.$$

In dem Werthe von P muß das erste Integral von $u=0$, bis $u=\beta$ das zweite Integral von $u=\beta$ bis $u=\lambda$ genommen werden.

Wir wollen zunächst hiernach die Kraft bestimmen, womit ein Cylinder von einer unbegrenzten magnetischen Fläche angezogen wird, und dabei X als constant betrachten.

In diesem Falle hat man, wenn die Coordinaten eines Punktes der Fläche mit x, y bezeichnet werden und als Anfang der Coordinaten der Berührungspunkt des Cylinders und der Magnetfläche angenommen wird:

$$q^2 = u^2 + x^2 + y^2$$

$$V = UX \int \frac{u du dx dy}{q^2}$$

$$P = 2 V X \int \frac{(\beta - u) u du dx dy}{\beta^2 q^2} + 2 V X \int \frac{(\beta - u) u du dx dy}{(\lambda - \beta)^2 q^2}.$$

Wird die Integration für u zwischen den oben angegebenen Gränzen, für x und y aber von 0 bis ∞ bewerkstelligt, so ergibt sich $P=0$, d. h. der anliegende Pol des Eisencylinders wird ebenso stark angezogen, als der entferntere Pol abgestoßen. Von der Richtigkeit dieses Resultats wird man sich auch sonst leicht durch eine geometrische Construction überzeugen können; man wird ferner finden, daß wenn ein magnetisches Element von einer unbegrenzten magnetischen Fläche angezogen wird, die An-

ziehung unabhängig ist von der Entfernung des Punktes, also auch eine magnetisirte Platte von überall gleicher Dicke keine Anziehung ausüben wird, es mag der Magnetismus bloß an den äußern Flächen oder auch im Innern sich befinden.

Um zu sehen, ob dieses Ergebniss der Rechnung mit dem wirklichen Verhalten übereinstimme, nahm ich einen 25pfündigen Magnetstab von Meyerstein in Göttingen, hielt ein Stückchen feinen Eisendraht von ungefähr $\frac{1}{2}$ Linie in der Länge an die breite Fläche des Magnets (die Breite beträgt 34 Linien) und es zeigte sich, daß auch in der Mitte dieser Fläche noch *eine beträchtliche Anziehung stattfand*, ganz übereinstimmend mit der sonst bekannten Thatsache, daß feine Eisenfeilspähne auch an den breiten Flächen eines Magnets sich anhängen.

Wie ist nun dieses Resultat zu erkennen? Verschiedene Hypothesen lassen sich hier aufstellen.

Man kann annehmen, daß in ganz kleinen Entfernungen *das Eisen selbst* von einem Magnet angezogen wird.

Man kann annehmen, daß in dem Eisenstücke *nicht gleich viel* positiver und negativer Magnetismus inducirt wird, sondern in demjenigen Ende, welches an den Magnet anliegt oder überhaupt der inducirenden Kraft näher ist, eine größere Menge Magnetismus entsteht.

Man kann endlich auch annehmen, daß der Magnetismus des Eisenstückchens (wie wir oben gesehen haben, sehr stark in dem anliegenden Ende concentrirt) in dem Magnetstabe neuen Magnetismus hervorrufe, so zwar, daß die Stelle des Magnetstabes, die mit dem Eisenstückchen in Berührung steht, *stärker* Magnetismus habe, als wenn das Eisenstückchen entfernt wird.

Ueber die Zulässigkeit der ersten Hypothese läßt sich leicht eine Entscheidung erhalten. Man nehme zwei Cylinder von ganz gleicher Form und Oberfläche, wovon der eine im Innern massiv, der andere ausgehöhlt ist und untersuche, welche Kraft nothwendig ist, um sie von einem Magnetstabe abzureißen. Ist die Hypothese begründet, so

wird die Kraft nahezu im Verhältnisse der Masse seyn. Ich habe den Versuch ausgeführt mit zwei Cylindern, wovon der eine ungefähr halb so viel Masse hatte, wie der andere, und das Resultat war, daß die Anziehung *nicht* im Verhältniß zur Masse stand; der Unterschied zwischen der Anziehung des massiven und hohlen Cylinders betrug kaum $\frac{1}{10}$ von der ganzen Anziehung.

Obwohl die zweite Hypothese an und für sich nicht gerade von vornherein zu verwerfen wäre, so zweifle ich kaum, daß die dritte als die richtige betrachtet werden muß; für unsern Zweck giebt übrigens die eine Hypothese dasselbe Resultat, wie die andere.

Zur Prüfung und nähern Bestimmung der hier stattfindenden Verhältnisse wird es zweckmäfsig seyn, die Rechnung etwas zu vereinfachen.

Zuerst wollen wir den im Eisencylinder hervorgerufenen Magnetismus der Anziehung proportional setzen, welche von sämtlichen Elementen des Magnets auf das *nähere Ende* desselben ausgeübt wird; die Distanz zwischen der Magnetfläche und diesem Ende bezeichnen wir mit e . Wir wollen ferner annehmen, daß das vom Magnetstab angezogene Fluidum in dem nähern Ende des Eisencylinders sich concentrirt und daß bei Berechnung der Anziehung dieses Fluidum allein zu berücksichtigen sey, während der Magnetismus, der sich gegen das andere Ende des Cylinders hinzieht, wegen der gröfsern Entfernung unbeachtet gelassen werden kann.

Setzt man

$$Z = \int \frac{dm dm'}{e^3} \cos \alpha,$$

so erhält man den eben angeführten Voraussetzungen zufolge:

$$P = A(1 + \eta) UX^2 Z^2,$$

wo A eine Constante und η eine Function von e ist, die *sehr schnell* abnimmt mit der Entfernung e , so zwar, daß ohne merklichen Fehler $\eta = 0$ angenommen werden kann, so lange e einen von 0 verschiedenen Werth hat.

Wir wollen dieses anwenden auf einen cylindrischen Magnetstab von dem Halbmesser r . Wird die Mitte des Magnets als Anfangspunkt der Coordinaten angenommen und die Coordinaten für das Ende des Eisencylinders mit h und $r + e$, für ein Element der Oberfläche des Magnets mit $h + x$, r und φ bezeichnet, so hat man

$$Z = \frac{rd\varphi dx(e+r-r\cos\varphi)}{[x^2+(e+r)^2+r^2-2r(e+r)\cos\varphi]^{\frac{3}{2}}}$$

Wird integrirt von $X = -\infty$ bis $X = +\infty$ und von $\varphi = 0$ bis $\varphi = 2\pi$, so ergibt sich

$$Z = \frac{2\pi r}{e+r}.$$

Es wurden mit zwei Magneten Versuche angestellt, woraus sich folgende Bestimmungen ergaben:

1) Cylindrischer Magnet No. 3. (Länge 151,4 P. Lin., Halbmesser 3,25 P. Lin.).

für $e = 0$ ergab sich $P = 306,6$

für $e = 1,1$ millim. $P = 5,0$.

2) Cylindrischer Magnet No. 1. (Länge 225,1 P. Lin., Halbmesser 5,35 P. Lin.).

für $e = 0$ ergab sich $P = 247,5$

für $e = 1,1$ millim. $P = 1,9$.

Im ersten Falle erhält man $\eta = 45$, im zweiten $\eta = 116$: der große Unterschied beider Bestimmungen mag vorzüglich in der Unsicherheit der Beobachtung selbst seinen Grund haben. Jedenfalls werden durch diese Versuche unsere Voraussetzungen, wonach bei der unmittelbaren Berührung eine Verstärkung der Induction erfolgt, vollkommen bestätigt.

Wir wollen nun die Vertheilung des Magnetismus in den Magnetstäben näher untersuchen.

Die beiden Magnetstäbe, die ich zu den im I. Aufsatze dargelegten Versuchen angewendet habe, waren Parallelepipeda und überdies gehärtet. Da es unmöglich ist, einer größern Masse in allen Theilen eine vollkommen gleiche Härte zu geben, ausserdem die Form eine sehr verwickelte

- 1) Ein Glas von der Dicke = 1,1 millim befand sich zwischen dem Magnet und dem Eisen.

Rechnung veranlaßt, so hielt ich es für zweckmäfsig, jene Versuche mit runden und ungehärteten Stahlstäben zu wiederholen. Ich liefs deshalb drei Stahlcylinder machen mit folgenden Dimensionen (in Pariser Linien).

No. 1. }
 No. 2. } 225,1 Lin. Länge und 10,7 Lin. Durchmesser.
 No. 3. 151,4 " " " 6,5 " "

Von der Mitte aus nach beiden Enden wurden sechs Theilstriche mit gleichen Abständen auf den Cylindern verzeichnet, jedoch so, dafs der sechste Theilstrich bei No. 1 und 2. um 1,1 Lin., bei No. 3. um 0,7 Lin. von den Endpunkten entfernt war.

Die Cylinder wurden magnetisirt mittelst des Doppelstriches und die Versuche ganz in der frühern Weise vorgenommen, jedoch mit einem andern Eisencylinder von 12,8 Lin. Länge und 2,0 Lin. Durchmesser. Dabei ergaben sich folgende Bestimmungen von P^1).

I. Versuch.

Theil- strich n.	Magnet No. 1.			Magnet No. 2.		
	P. Seite A.	P. Seite B.	Mittel für P.	P. Seite A.	P. Seite B.	Mittel für P.
+ 6	+ 484,5	+ 465,9	+ 475,2	+ 259,7	+ 204,5	+ 232,1
+ 5	+ 265,4	+ 255,4	+ 260,4	+ 101,1	+ 93,7	+ 97,4
+ 4	+ 175,5	+ 177,5	+ 176,5	+ 48,2	+ 41,5	+ 44,8
+ 3	+ 99,9	+ 108,2	+ 104,0	+ 20,5	+ 19,1	+ 19,8
+ 2	+ 72,0	+ 79,5	+ 75,7	+ 8,8	+ 11,2	+ 10,0
+ 1	+ 23,1	+ 19,5	+ 21,3	+ 3,4	+ 5,5	+ 4,4
0	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,6	+ 0,6	+ 0,6
- 1	- 4,6	- 18,8	- 11,7	- 0,2	- 5,0	- 2,6
- 2	- 47,3	- 64,5	- 55,9	- 5,3	- 14,6	- 10,0
- 3	- 99,9	- 100,6	- 100,2	- 19,2	- 25,6	- 22,4
- 4	- 162,5	- 151,8	- 157,2	- 40,1	- 56,4	- 48,2
- 5	- 258,1	- 243,1	- 250,6	- 92,1	- 98,5	- 95,3
- 6	- 486,2	- 425,2	- 455,7	- 226,1	- 222,1	- 224,1

Ablenkung 36',4.

Ablenkung 18',7.

- 1) Den Werth von P in Grammen erhält man, wenn man die angegebenen Zahlen bei Magnet No. 1 und 2. mit 0,1328, bei No. 3. mit 0,1319 multiplicirt. In dem ersten Aufsätze habe ich den Factor bei den zwei 4pfündigen Göttinger Magneten irriger Weise zu 0,173 angegeben; die richtige Zahl ist 0,1322.

II. Versuch.

Theil- strich n.	Magnet No. 1.			Magnet No. 2.		
	P. Seite A.	P. Seite B.	Mittel für P.	P. Seite A.	P. Seite A.	Mittel für P.
+ 6	+ 474,9	+ 445,6	+ 460,2	+ 266,7	+ 214,5	+ 240,6
+ 5	+ 265,7	+ 258,4	+ 262,1	+ 99,3	+ 98,0	+ 98,6
+ 4	+ 185,5	+ 185,1	+ 185,3	+ 56,4	+ 47,6	+ 52,0
+ 3	+ 123,9	+ 117,4	+ 120,6	+ 24,9	+ 21,3	+ 23,1
+ 2	+ 65,1	+ 60,1	+ 62,6	+ 12,2	+ 13,0	+ 12,6
+ 1	+ 20,0	+ 23,1	+ 21,5	+ 2,9	+ 5,0	+ 3,9
0	+ 0,9	+ 1,0	+ 1,0	+ 0,4	+ 0,3	+ 0,4
- 1	- 15,5	- 31,7	- 23,6	- 2,5	- 7,0	- 4,7
- 2	- 58,0	- 84,2	- 71,1	- 11,7	- 16,6	- 14,1
- 3	- 101,7	- 117,5	- 109,6	- 26,9	- 31,2	- 29,0
- 4	- 170,2	- 196,5	- 183,3	- 51,0	- 60,2	- 55,6
- 5	- 255,4	- 289,0	- 272,2	- 101,4	- 109,8	- 105,6
- 6	- 454,5	- 466,2	- 460,3	- 278,4	- 261,7	- 270,1

Ablenkung 38',05.

Ablenkung 19',95.

Mit diesen Zahlenwerthen erhält man zur Bestimmung von a' folgende Gleichungen:

$$\begin{aligned} \frac{282,7 + a' 2851,7}{485,7 + a' 7434,2} &= \frac{18,7}{36,4} \\ \frac{299,6 + 3116,1 a'}{500,2 + 7754,5 a'} &= \frac{19,95}{38,05} \end{aligned}$$

Daraus ergeben sich für a' die zwei Werthe:

$$+ 0,0343 \text{ und } + 0,0393$$

so dafs man im Mittel $a' = + 0,0368$ setzen kann.

Die Intensität X hat in den verschiedenen Entfernungen von der Mitte der Stäbe folgende Werthe:

Theil- strich n.	I. Versuch.		II. Versuch.	
	Werthe von X.		Werthe von X.	
	Magnet No. 1.	Magnet No. 2.	Magnet No. 1.	Magnet No. 2.
+ 6	+ 39,4	+ 23,8	+ 38,5	+ 24,4
+ 5	+ 25,7	+ 13,5	+ 25,9	+ 13,5
+ 4	+ 19,8	+ 8,4	+ 20,5	+ 9,1
+ 3	+ 14,0	+ 5,1	+ 15,5	+ 5,7
+ 2	+ 11,5	+ 3,6	+ 10,2	+ 4,0
+ 1	+ 5,4	+ 2,3	+ 5,2	+ 2,1
0	+ 0,4	+ 0,8	+ 1,0	+ 0,6
- 1	- 3,8	- 1,7	- 5,8	- 2,3
- 2	- 9,6	- 3,6	- 11,0	- 4,3
- 3	- 13,7	- 5,5	- 14,6	- 6,5
- 4	- 18,3	- 8,7	- 20,3	- 9,6
- 5	- 25,1	- 13,3	- 26,6	- 14,2
- 6	- 38,2	- 23,3	- 38,5	- 26,4

Der eben angeführte Versuch bestätigt vollkommen die Grundsätze, die ich im I. Aufsatze entwickelt habe; daß der Werth von a' kleiner seyn werde, war zu erwarten, weil der Eisencylinder eine größere Länge hat.

Mit dem Magnet No. 3. wurden vier Versuchsreihen ausgeführt und nach jeder Versuchsreihe der Magnetismus vermindert oder vermehrt. Folgende Tabelle giebt nur die Mittel für P , dann die Werthe von X berechnet mit $a' = + 0,06$ ').

Theil- strich n .	I. Versuchs- reihe.		II. Versuchs- reihe.		III. Versuchs- reihe.		IV. Versuchs- reihe.	
	P .	X .	P .	X .	P .	X .	P .	X .
+ 6	+ 428,2	+ 46,4	+ 82,8	+ 14,0	+ 492,4	+ 51,7	+ 313,7	+ 36,5
+ 5	+ 254,1	+ 31,1	+ 63,5	+ 11,8	+ 312,4	+ 36,4	+ 146,7	+ 20,9
+ 4	+ 174,2	+ 23,6	+ 63,8	+ 11,8	+ 222,8	+ 28,2	+ 88,7	+ 14,7
+ 3	+ 108,6	+ 16,9	+ 57,9	+ 11,0	+ 153,8	+ 21,6	+ 59,0	+ 11,2
+ 2	+ 61,7	+ 11,6	+ 30,8	+ 7,3	+ 90,0	+ 14,9	+ 28,8	+ 7,1
+ 1	+ 26,3	+ 6,6	+ 3,0	+ 1,9	+ 45,1	+ 9,4	+ 5,0	+ 2,5
0	+ 3,2	+ 2,0	— 3,8	— 2,1	+ 8,0	+ 3,3	+ 0,8	+ 0,9
— 1	— 5,3	— 2,6	— 28,0	— 7,0	— 9,2	— 3,5	— 9,2	— 3,5
— 2	— 67,8	— 8,6	— 51,5	— 10,3	— 93,0	— 15,2	— 21,6	— 5,9
— 3	— 124,2	— 18,5	— 64,2	— 11,8	— 171,5	— 23,4	— 47,5	— 9,7
— 4	— 213,5	— 28,4	— 67,1	— 12,2	— 239,8	— 29,9	— 84,5	— 14,2
— 5	— 280,1	— 33,5	— 63,1	— 11,7	— 332,0	— 38,1	— 143,2	— 20,6
— 6	— 490,2	— 51,5	— 74,0	— 13,0	— 515,0	— 53,6	— 297,7	— 35,1
	Ablenkung 14',2		Ablenkung 5',7		Ablenkung 15',37		Ablenkung 8',70	

Will man die obigen Zahlenwerthe für X durch eine Function der Entfernung n von der Mitte ausdrücken, so sieht man sogleich, daß die bisweilen als Näherung gebrauchte Hypothese einer *gleichmäßigen Zunahme* des Magnetismus nach beiden Enden hin ganz unzulässig ist. Ich habe

- 1) Die ersten zwei Versuche geben $a' = + 0,0749$; die letzten zwei $a' = + 0,0506$. Da bei dem zweiten Versuche die Vertheilung sehr unregelmäßig war, so habe ich dem Resultate nur das halbe Gewicht beigelegt und so den oben angegebenen Werth von a' gefunden. Es wurde derselbe Eisencylinder gebraucht, wie bei den obigen Versuchen mit den Magneten No. 1 und 2.

habe dann ferner versucht, wie die gefundenen Zahlen durch die Biot'sche Formel¹⁾

$$Aa^N - Bb^{-N}$$

dargestellt werden könnten, erkannte aber bald, daß wenn die Constanten aus den für die beiden Endpunkte gefundenen Werthen abgeleitet werden, eine befriedigende Uebereinstimmung nicht wohl erzielt werden kann.

Läßt man dagegen bei Bestimmung der Constanten die Endpunkte unbeachtet, so erhält man folgende Formeln:

No. 1. $12,55 (1,195)^N - 12,29 (1,207)^{-N}$

No. 2. $1,92 (1,499)^N - 1,92 (1,499)^{-N}$

No. 3. $31,01 (1,088)^N - 29,40 (1,139)^{-N}$

Wie weit diese Formeln sich der Beobachtung anschließen, ersieht man aus folgender Zusammenstellung: mit X werden die arithmetischen Mittel der in den obigen Tabellen angegebenen Intensitäten, dann mit δX die Größen bezeichnet, die zu den berechneten Werthen hinzuzufügen sind, um sie der Beobachtung gleich zu machen.

Theil- strich n.	Magnet No. 1.		Magnet No. 2.		Magnet No. 3.	
	X beobachtet.	δX .	X beobachtet.	δX .	X beobachtet.	δX .
+ 6	+ 39,0	+ 6,5	+ 24,1	+ 2,5	+ 49,0	+ 11,0
+ 5	+ 25,8	0,0	+ 13,5	- 0,8	+ 33,7	+ 1,8
+ 4	+ 20,1	+ 0,2	+ 8,7	- 0,6	+ 25,9	- 0,1
+ 3	+ 14,7	+ 0,3	+ 5,3	- 0,5	+ 19,2	- 0,8
+ 2	+ 10,8	+ 1,3	+ 3,8	+ 0,3	+ 13,2	- 0,8
+ 1	+ 5,3	+ 0,5	+ 2,2	+ 0,6	+ 8,0	+ 0,1
0	+ 0,7	+ 0,4	+ 0,7	+ 0,7	+ 2,6	+ 1,0
- 1	- 4,8	- 0,5	- 2,0	- 0,4	- 3,0	+ 2,0
- 2	- 10,3	- 1,2	- 4,0	- 0,5	- 11,9	0,0
- 3	- 14,1	+ 0,2	- 6,0	- 0,2	- 20,9	- 1,7
- 4	- 19,3	+ 0,6	- 9,1	+ 0,2	- 29,2	- 1,9
- 5	- 25,8	+ 1,3	- 13,8	+ 0,5	- 35,8	+ 0,2
- 6	- 38,3	- 4,6	- 24,8	- 3,2	- 52,5	- 7,0

- 1) Die Formel enthält eigentlich nur *drei* Constanten, da die Quantität des positiven und negativen Magnetismus im ganzen Stab gleich seyn muß, und hieraus die Bedingungsgleichung

$$B (b^N - b^{-N} \log. a = A (a^N - a^{-N}) \log b$$

hervorgeht, wo N die halbe Länge des Stabes ausdrückt.

Als Endresultat ergibt sich folgender Satz:

Die Biot'sche Formel stellt die Intensitäten, wenn man die Endpunkte nicht berücksichtigt, so genau dar, daß die zu Grunde gelegte Hypothese als richtig anerkannt werden muß; für die Endpunkte dagegen erhält man nach der Biot'schen Formel die Intensitäten fast um $\frac{1}{6}$ zu klein.

Die Biot'sche Hypothese bedarf demnach zu ihrer Vervollständigung eines Zusatzes, wodurch die Zunahme an den Enden des Stabes erklärt wird.

Die hier bemerkte Zunahme des Magnetismus an den Endpunkten eines Stabes dürfen wir nicht etwa als ein isolirtes Phänomen betrachten, sondern als einen speciellen Fall des allgemeinen Gesetzes, daß an den Kanten eine größere Kraft wahrgenommen wird.

IV. Untersuchungen über thermo-elektrische Ströme; von Rudolph Franz.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß durch Erwärmung eines mit einem für Thermoströme nur irgend empfindlichen Multiplicator in Verbindung gesetzten Metalldrahtes stets ein thermoelektrischer Strom hervorgebracht wird. Diese Ströme hat man, wie es mir scheint mit vollem Rechte, der krystallinischen Structur der Drähte zugeschrieben. Sie werden in größerer Stärke durch Erwärmung krystallinisch scharfer gruppirtter Metallstäbchen (z. B. Wismuth) hervorgebracht, als durch Erwärmung weniger scharf krystallinisch gefügter Stäbchen (z. B. Gold).

Schaltet man ein Wismuthstäbchen zwischen die Drähte eines empfindlichen Multiplicators ein, so erhält man verschieden laufende Ströme, wenn man das Stäbchen an verschiedenen Punkten erwärmt¹⁾; es finden sich an einem

1) Seebeck Pogg. Ann. Bd. VI. u. A.

Wismuthstäbchen oft vier Wendepunkte, an denen der Strom aus der einen in die andere Richtung übergeht. Ja sogar an derselben Stelle des Wismuthstäbchens erhielt man gewöhnlich entgegengesetzte Ströme, wenn man einen stark erhitzten Körper nach und nach tiefer in das Wismuth hineinschmilzt, oder den Stab um den erwärmenden Körper dreht, ohne dessen Lage gegen die Verbindungsdrähte zu ändern. In den Stäbchen, bei welchen ich die erste Art von Erscheinungen beobachtete, fand sich an den verschiedenen Stellen, die einen entgegengesetzten Strom zeigten, eine verschiedene Richtung der Hauptspaltungsebene, und ebenso erkennt man leicht durch Zerbrechen der Stäbchen, welche die zweite Art von Erscheinungen zeigen, eine vom Innern des Stabes ausgehende entgegengesetzte krystallinische Fügung.

Diese Resultate liefsen es mir wünschenswerth erscheinen, die Beziehung der krystallinischen Structur auf thermoelektrische Ströme etwas näher ins Auge zu fassen, als bisher geschehen; ich liefs mich auch durch Herrn Svanberg's der Pariser Academie vorgelegte Arbeit von meinem Vorhaben nicht zurückschrecken, da dieselbe, wenigstens so weit sie aus den *Comptes rendues* ¹⁾ bekannt geworden ist, in das Einzelne nicht genau genug einzugehen scheint. Um nun aber so viel als möglich alle Fehler zu vermeiden, die eine mangelhafte Verbindung der Metalle bei den Versuchen hervorbringen könnte, liefs ich mir zu diesen Untersuchungen ein Instrument verfertigen, das in Bezug auf Genauigkeit der Einstellung und für die Anstellung der Versuche kaum etwas zu wünschen übrig läfst. Es ist darauf berechnet, dafs die Versuche nur mit Würfeln von kaum ein Kubikcentimeter Gröfse angestellt werden. Diese Würfel werden zwischen festliegende geschliffene Glasplatten gelegt, und stehen durch quadratische Säulen von Kupfer mit den Drähten des Multipliers in Verbindung. Durch einen in einem Sandbade erwärmten Glascylinder, der vermittelt Mikrometerschrauben genau

1) *Comptes rendues* 1850. No. 8. (Ann. Ergabd. III, S. 153.)

so eingestellt werden kann, daß er die Verbindungslinie beider zu untersuchenden Würfel berührt, wird es möglich stets mit derselben meßbaren Temperatur die Verbindungslinie der Würfel zu erwärmen. Außerdem ist ein Hebel so angebracht, daß der eine Arm die eine Kupfersäule horizontal gegen die Würfel, und somit die Würfel an einander preßt, wenn der andere 15 Mal längere horizontal liegende Arm belastet wird; bei den folgenden Untersuchungen betrug die Belastung des längeren Hebelarms 500 Gramme. Der Druck, mit dem die untersuchten Würfel an einander gepreßt wurden, war also gleich einer Belastung von $7\frac{1}{2}$ Kilogramme.

Der Multiplikator hat 160 Windungen 1,3^{mm} dicken Kupferdrahtes, wurde aber so benutzt, daß der Strom, je zwei Windungen zugleich durchlaufend, die Nadel nur 80 Mal umkreiste.

Die Instrumente verdanke ich der Werkstatt des Hrn. Rube in Berlin.

Ehe ich zu den eigentlichen Versuchen übergehe, will ich eines Vorversuchs erwähnen, der mich schliesen liefs, daß ich namentlich nur auf die Hauptspaltungsrichtung in Betreff der krystallinischen Structur des Wismuth, welche Richtung sich durch die Leichtigkeit der Spaltung und den Glanz des Bruchs deutlich von den andern Spaltungsrichtungen unterscheidet, Rücksicht zu nehmen nöthig hatte. Durch Schmelzen von etwa 10 Pfund Wismuth und Abgießen der flüssigen Masse nach Erstarrung der Oberfläche hatte ich einige sehr schöne Krystalle gewonnen, die ich zwischen die Kupfersäulen des oben beschriebenen Apparats anklemmte. Durch Erwärmung der Berührungslinie der Kupfersäule und des Wismuthkrystalles müßte natürlich ein positiver Strom entstehen der an der Berührungsstelle von Wismuth zum Kupfer ging; der Strom blieb nun aber positiv während der Erwärmung irgend eines andern Theiles des Wismuthkrystalles, sobald die Hauptspaltungsrichtung im Krystall nach dieser ersten Berührungsfläche hin abfiel; der Strom schlug aber sogleich in die entgegen-

gesetzte Richtung um, sobald der Krystall so gestellt wurde, daß die Neigung seiner Hauptspaltungsebene zu der andern Kupfersäule hin abfiel. Also wie man auch den Krystall erwärmte, der positive Strom ging stets von der Erwärmungsquelle aus, in der Richtung, welche die größte Spaltbarkeit durch ihre Neigung bei der jedesmaligen Lage des Krystalls andeutete.

Die Würfel, die ich mir zu den nun folgenden Untersuchungen habe anfertigen lassen, sind so aus einem regelmäßig geschichteten (käflichen) Stück Wismuth geschnitten, daß theils die Hauptspaltungsrichtung zweien Würfel Flächen parallel ist, theils gegen zwei Flächen des Würfels um 30° , bezüglich 60° geneigt ist; dadurch wird es möglich die Spaltungsebenen zweier Würfel einander parallel, oder um 30° , bezüglich 60° gegen einander geneigt zu stellen. So oft nach Einstellung der Würfel der Hebelarm belastet wurde, um die gleichmäßige Berührung beider Würfel herzustellen, konnte man eine kleine Abweichung der Nadel beobachten, die aber offenbar nur der durch den Druck und der dadurch hervorgebrachten Reibung entstandenen Erwärmung zuzuschreiben ist; dieser Strom war zu Zeiten positiv, zu Zeiten negativ, oft bei verschiedenen Versuchen mit denselben Metallen ein entgegengesetzter und hörte nach kurzer Zeit, sobald nämlich die erwärmten Stellen der Kupfersäulen oder der zu untersuchenden Würfel sich abgekühlt hatten, wieder auf. Auf diesen Strom nehmen wir in der Folge keine Rücksicht.

Zur Vereinfachung der Angabe der Resultate habe ich die beiden Kupferstücke meines Instruments mit *B* und *A* bezeichnet, und einen von *B* nach *A* gehenden Strom positiv genannt, wenn er in dem Sinne geht, als wenn bei *B* Wismuth, bei *A* Antimon läge. Diese Kürze wird entschuldigt werden, wegen der Weitschweifigkeit, die eine jedesmalige Erörterung des Stromganges erfordern würde. Die Erwärmung bei allen folgenden Versuchen beträgt 90 bis 100° C. über die Temperatur des Zimmers, in welchem experimentirt wurde.

Zuerst wurden nun die nach der Spaltungsrichtung geschnittenen Würfel so aneinander gelegt, daß die Spaltungsebene vertical und in beiden Würfeln gleichmäÙig lagen, und zwar so, daß von *A* und *B* aus betrachtet die Spaltungsebene beider Würfel äquatorial standen. Durch Erwärmung der Verbindungslinie wurde bei dieser Lage der Würfel entweder gar kein Strom hervorgebracht, oder doch nur so kleine, daß sie wohl nur der leider nicht ganz gleichmäÙigen inneren Structur des Metalles zuzuschreiben waren. Darauf wurden zwei andere Würfel so zwischen die Kupfersäulen eingeklemmt, daß die Hauptspaltungsebene beider einen Winkel von 30° mit der Horizontalebene bildete und zwar so, daß die Ebene von *B* nach *A* hin sich senkte. Durch Erwärmung der Verbindungslinie wurde bei dieser Lage eine mittlere Ablenkung von $+ 34,5^\circ$ ¹⁾ hervorgebracht. Wurde nun die Hauptspaltungsebene gegen die Horizontalebene um 60° geneigt, so betrug die Ablenkung der Nadel $+ 19,7^\circ$ ²⁾. Eine ganz gleiche Ablenkung der Nadel, nur nach der entgegengesetzten Richtung hin, ergab sich in beiden Fällen, sobald die Spaltungsebene nach *B* hin in demselben Sinne neigte. Die Richtung des Stromes, und, mit geringen Unterschieden, auch seine Stärke, blieben dieselben, wenn man den Glasstab von der Berührungslinie beider Würfel fort nach *A* oder *B* hin bewegte, und der Strom schlug erst um in den entgegengesetzten, sobald man die Berührungslinie des Wismuth und Kupfer in den ersten Versuchen bei *B*, in den letzten bei *A* erwärmte. Diese Resultate waren nach dem oben beschriebenen Vorversuche mit dem Wismuthkrystall vorauszusehen.

Bei einer solchen Lage der Würfel, daß die Richtung

- 1) Sämmtliche Angaben der Grade am Multiplicator beziehen sich auf den ersten Ausschlag der Nadeln.
- 2) Dieß sind die Mittel aus etwa 30 wenig von einander abweichenden Beobachtungen, die mit verschiedenen Würfeln und in verschiedener Lage derselben (ohne die Neigung der Spaltungsebene zu ändern) angestellt wurden.

der Hauptspaltungsebene gegen die Verticalebene in beiden gleichmäfsig geneigt war, fanden, bei Erwärmung der Berührungslinie beider Würfel in den verschiedenen Lagen, unregelmäfsige kleine Strömungen statt, die mich zu der Vermuthung berechtigen, dafs, wären die Würfel homogen genug und absolut gleich geschnitten, durch die Erwärmung der horizontalen Fläche in dieser Lage kein Strom erfolgen würde.

Legte man die nach der Hauptspaltungsrichtung geschnittenen Würfel so aneinander, dafs die Ebene der Spaltung horizontal lag, so wurde durch Erwärmung des Wismuth kein Strom hervorgebracht; desgleichen blieb der Strom ein so unregelmäfsiger und so geringer, dafs man ihn nur der Ungleichheit der Structur zuschreiben kann, sobald die Würfel so aneinandergespreßt wurden, dafs die axial gerichteten Hauptspaltungsebenen beider Würfel einen Winkel von 90° miteinander bildeten. Die Nadel des Multipliers zeigte aber eine mittlere Ablenkung von 45° so oft die Würfel so aneinandergelegt wurden, dafs die Hauptspaltungsebene des einen axial, die des andern äquatorial stand; bei diesem letzten Versuche geht der positive Strom von dem Würfel mit äquatorialer Spaltung zu dem mit axialer an der Verbindungsstelle über.

Wir wollen nun den Würfel bei *B* in äquatorialer Stellung lassend, die Hauptspaltungsrichtung des Würfels bei *A* in verschiedene Lagen bringen, indem wir sie erst um 30° gegen die Horizontalebene neigen und dann um 60° und zwar zuerst so, dafs die Richtung der Spaltung nach der Erwärmungslinie abfällt.

Bei 30° Neigung gab die Nadel einen Ausschlag von $+28^\circ$
bei 60° Neigung einen Ausschlag von 13° .

Ist die Neigung der Spaltungsrichtung zur Horizontalebene eine entgegengesetzte, neigt sich also die Spaltung von der Erwärmungslinie nach *A* hin, so war der Strom

bei 30° Neigung 35°
bei 60° Neigung 29°

also größer als in der andern Lage, was auch nach den oben beschriebenen Versuchen zu erwarten stand.

Diese Resultate sind die Mittel aus 15 bis 20 Beobachtungen, theils mit verschiedenen Würfeln, theils in verschiedener Lage angestellt. Vertauschen wir die Lage dieser Würfel zu einander, so war vorauszusehen, daß der Strom die entgegengesetzte Richtung nehmen würde. Und in der That waren Stärke und Richtung des Stroms bei allen entsprechenden Versuchen die entgegengesetzten, so daß die Beobachtungen, da sie bis auf ganz geringe Differenzen mit den eben angeführten, nur mit entgegengesetztem Vorzeichen, übereinstimmen, nicht angeführt zu werden brauchen.

Aus allen diesen Versuchen geht also zunächst für das Wismuth hervor, daß bei einem gleichgerichteten Stück die Neigung der Hauptspaltungsrichtung die Richtung des durch Erwärmung dieses Stückes hervorgebrachten positiven Stroms andeutet; und daß bei der Neigung der Hauptspaltungsrichtungen gegen einander in zwei verschiedenen Stücken durch Erwärmung der Verbindungsstelle ein Strom hervorgebracht wird, der stets von der für den Strom äquatorialen Richtung sich fortbewegt, und zwar um so leichter, je größer der Winkel ist, den die Hauptspaltungsebenen mit einander machen.

Es lag nach diesen Versuchen die Vermuthung nahe, daß die verschiedene Lage des Wismuths auch für den Strom, den es in Berührung mit andern Metallen erzeugt von Bedeutung seyn würde, und in der That ergiebt sich ein bedeutender Unterschied in der Stärke des Stromes, je nachdem ein Wismuthwürfel mit einem andern Metall in den beiden Hauptlagen in Berührung gebracht wird. Wir wollen hier wieder der Einfachheit wegen die verschiedenen Lagen des Wismuth je nach der Richtung der Hauptspaltung mit *aequatorial* und *axial* bezeichnen. Der Strom geht natürlich stets an der Berührungsstelle von Wismuth zum andern Metalle.

<i>Stahl</i>	Wismuth axial	6,2	} 4,3°
	Wismuth aequatorial	2,5	
<i>Eisen</i>	Wismuth axial	3,3	} 6,7°
	Wismuth aequatorial	10,1	
<i>Blei</i>	Wismuth axial	9	} 13,5°
	Wismuth aequatorial	18	
<i>Zink</i>	Wismuth axial	19	} 24,0°
	Wismuth aequatorial	30,7	
<i>Neusilber</i>	Wismuth axial	23	} 30°
	Wismuth aequatorial	37	
<i>Messing</i>	Wismuth axial	22,5	} 39,5°
	Wismuth aequatorial	38,5	
<i>Silber</i>	Wismuth axial	25	} 31,7°
	Wismuth aequatorial	38,5	
<i>Kupfer</i>	Wismuth axial	25,5	} 32,5°
	Wismuth aequatorial	49,5	
<i>Zinn</i>	Wismuth axial	36	} 47,5°
	Wismuth aequatorial	59	

Gegossene Wismuth- und Antimonwürfel gaben einen Strom zwischen 60 und 70°.

Beim Antimon findet sich bekanntlich ebenfalls eine ganz entschieden vorherrschende Spaltungsrichtung. Ich liefs mir deshalb aus Antimon ebenfalls Würfel verfertigen, in denen zwei gegenüberliegende Flächen durch die Hauptspaltung gebildet wurden. Durch Aneinanderpressen dieser Würfel bei gleicher Lage ihrer Hauptspaltungsebenen war nach dem Erwärmen der Berührungsstelle wiederum kein Strom bemerkbar; erst als die Spaltungsebene des einen Würfels axial, die des andern aequatorial lag, zeigte sich nach der Erwärmung der Verbindungslinie auf 100° C. ein mittlerer Ausschlag der Multiplicatornadeln von 12,4°. Der positive Strom geht auch beim Antimon von dem aequatorial liegenden Würfel an der Berührungsstelle zu dem mit axial liegender Spaltungsebene.

In Verbindung gesetzt mit andern Metallen zeigt Antimon, wenn wir wieder den Gang des positiven Stromes betrachten, also des Stromes, der an der erwärmten Stelle

von dem andern Metall zum Antimon übergeht, für den positiven Strom einen leichteren Durchgang in der axialen Lage der Hauptspaltungsrichtung, als in der aequatorialen Lage derselben, so dafs also die Ströme gröfser sind bei der Verbindung des Würfels mit axial liegender Spaltungsebene und einem andern Metall. In Bezug auf die Quantität der erregten Elektrizität stellt sich die Reihe der untersuchten Metalle für das Antimon als folgende heraus, wobei jedoch zu bemerken ist, dafs die Ströme nicht bei verschiedenen Versuchen sich so constant zeigten als bei Wismuth.

<i>Stahl</i>	Antimon aequatorial	4,8	} 5,7°
	Antimon axial	6,7	
<i>Blei</i>	Antimon aequatorial	6,8	} 8,4°
	Antimon axial	10,1	
<i>Eisen</i>	Antimon aequatorial	7,7	} 8,7°
	Antimon axial	9,7	
<i>Zink</i>	Antimon aequatorial	8	} 9,8°
	Antimon axial	11,7	
<i>Kupfer</i>	Antimon aequatorial	13,2	} 14,6°
	Antimon axial	16	
<i>Messing</i>	Antimon aequatorial	14	} 15°
	Antimon axial	16,1	
<i>Silber</i>	Antimon aequatorial	14,8	} 16°
	Antimon axial	17,2	
<i>Neusilber</i>	Antimon aequatorial	18	} 20,3°
	Antimon axial	22,6	
<i>Zinn</i>	Antimon aequatorial	20,2	} 24,1.
	Antimon axial	28	

Auf das Verhältnifs der Ströme, die durch Erwärmung der Verbindungsstelle von Wismuth und Antimon in den verschiedenen Lagen beider Metalle zu einander hervorgebracht werden, werde ich später zurückkommen.

Mit diesen Reihen der Metalle für die Thermoelektricität, steht nun die gewöhnlich mit dem Namen thermoelektrische Spannungsreihe bezeichnete in gar keinem Verhältnifs. Stellt man die untersuchten Metalle so zusammen,

das jedes vorbergehende mit dem folgenden bei 100° C. Erwärmung einen positiven Strom giebt, so erhalten wir folgende Reihe:

Wismuth mit aequatorial liegender Hauptspaltung,

Wismuth mit axial liegender Hauptspaltung,

Neusilber,

Messing,

Zinn,

Kupfer,

Silber,

Zink,

Blei,

Stahl,

Eisen,

Antimon mit aequatorial liegender Hauptspaltung,

Antimon mit axial liegender Hauptspaltung.

Die Ströme zwischen je zwei Metallen bewirkten bei der angewandten Erwärmung oft nur einen Ausschlag der Nadel um einen Grad. Den größten Grad, wenn wir von Wismuth und Antimon absehn, gab Neusilber mit Eisen, nämlich 9° , den kleinsten Zink und Blei, nämlich $0,5^{\circ}$.

Es könnte leicht scheinen, daß sich in die Beobachtungen dadurch Fehler eingeschlichen hätten, daß die Wärme bei der Kleinheit der Würfel durch Strahlung des Glasstabes oder durch Leitung der Würfel selbst sich den Kupferstäben mittheilte, und dadurch neue Ströme, die die zu beobachtenden vergrößerten oder verkleinerten, erzeugt werden. Um mich davon zu überzeugen, daß dieß nicht der Fall sey, klemmte ich bei der Erwärmung der Verbindungslinie von Stahl und Wismuth auf die andere Seite des Wismuth einen Antimonwürfel ein; der Strom blieb positiv, nahm nur um $0,5^{\circ}$ ab, was wohl der weniger vollkommenen Leitung zuzuschreiben war.

V. *Ueber Diamagnetismus und magnekrystallinische Wirkung; von John Tyndall, Dr. Ph.*

Vor fünf Jahren hat Faraday das Daseyn einer neuen Kraft, genannt Diamagnetismus, nachgewiesen, welche sich in der Abstossung gewisser Körper durch die Pole eines Magnets zu erkennen giebt. Seit jener Zeit haben mehrere der ersten Physiker Deutschlands, Frankreichs und Englands sich diesem Gegenstande gewidmet. Eine der wichtigsten Fragen bei der Untersuchung betrifft die Beziehung zwischen Magnetismus und Diamagnetismus. Sind die Gesetze für beide Kräfte identisch, oder richtiger gesagt, vollkommen antithetisch? Verwandelt sich der mathematische Ausdruck der Anziehung bei der einen Kraft in den der Abstossung bei der andern durch einen Wechsel des Zeichens aus dem Positiven ins Negative oder aus dem Negativen ins Positive, je nach dem vorliegenden Fall?

Die Schlüsse, zu welchen Hr. Plücker in diesem Felde der Untersuchungen gelangt ist, sind ungemein merkwürdig und beachtenswerth. Sein erster Aufsatz »Ueber die Beziehung zwischen Magnetismus und Diamagnetismus,« datirt vom 5. Sept. 1847, findet sich in Poggendorff's *Annalen* und in Taylor's *Scientific Memoirs*. Er beginnt mit der Frage: »Ist es möglich durch Vermischung einer magnetischen Substanz mit einer diamagnetischen die entgegengesetzten Kräfte so aufzuheben, daß daraus ein indifferenten Körper hervorgeht?« Er verneint diese Frage. »Der Versuch,« sagt er, »den ich sogleich beschreiben werde, nöthigt jeden Gedanken dieser Art fallen zu lassen.«

Einer dieser Versuche wird als Vorbild aller übrigen dienen, und zeigen, worauf die verneinende Antwort des Hrn. Plücker beruht. Ein Stück Kirschbaumrinde, 15 Mm. lang und halb so breit, wurde frei zwischen den verschiebbaren Polen eines Elektromagnets aufgehängt. Als die

Spitzen der Pole an einander so nahe gebracht waren, daß die Rinde nur so eben Platz hatte, zwischen ihnen zu schwingen, stellte sie sich, gleich einer diamagnetischen Substanz, mit ihrer Länge winkelrecht gegen die die Pole verbindende Linie. Bei weiterem Auseinanderrücken der Pole, oder beim Heben der Rinde bis zu einer gewissen Höhe über denselben, drehte sie sich und stellte sich mit ihrer Länge parallel der die Pole verbindenden Linie. Ueblicherweise wollen wir die erste Lage die *aequatoriale* und die letztere die *axiale* nennen. Bei kleinem Abstände der Pole also überwog der Diamagnetismus und veranlaßte eine aequatoriale Lage der Masse; bei größerem Abstände der Pole war dagegen, nach Plücker's Angabe, der Magnetismus überwiegend und bewirkte eine axiale Stellung der Masse. Hieraus schließt er: »daß in der Kirschbaumrinde zwei ganz distincte Kräfte fortwährend in Thätigkeit seyen, und daß die eine, die magnetische, mit der Entfernung langsamer abnimmt, als die andere, die diamagnetische.«¹⁾

In einer späteren Abhandlung behauptet Hr. Plücker, dieses Ueberwiegen der diamagnetischen Kraft bei kleinem Abstände rühre her von dem allgemeineren Gesetz, daß wenn ein Magnet auf eine aus magnetischen und diamagnetischen Bestandtheilen zusammengesetzte Substanz einwirke, und man seine Kraft verstärke, der Diamagnetismus der Substanz in einem rascheren Verhältniß zunehme als der Magnetismus, so daß, ohne den Abstand zwischen ihr und dem Magnet zu ändern, eine und dieselbe Substanz einmal angezogen und das andere Mal abgestoßen werden könnte, bloß indem man die Stärke des erregenden Stroms veränderte.

Diese Behauptung stützt sich auf eine Anzahl von Versuchen, bei welchen ein Uhrglas mit Quecksilber an einem Ende einer Waage aufgehängt war. Das Uhrglas war magnetisch und das Quecksilber diamagnetisch. Als das Uhrglas in der Höhe von 3,5 Mm. über dem Pole des Magnets

1) Pogg. Ann. Bd. 72, S. 345.

aufgehängt war, und der letztere durch eine Batterie von vier Zellen angeregt ward, fand eine Anziehung von einem Milligramm statt; als dagegen der Magnet durch acht Zellen erregt ward, ging die Anziehung in eine Abstofsung von gleichem Betrage über.

Es ist zu bedauern, dafs Hr. Plücker, statt die wirkliche Stärke des erregenden Stromes anzugeben, blofs die Zahl der angewandten Zellen zu erwähnen für nöthig hielt. Diefs liefert uns keine bestimmte Kenntnifs von dem Betrage der in den respectiven Fällen entwickelten Magnetkraft. Es hängt ganz von der Natur des Schliefsdrahts der Batterie ab, ob und in welchem Verhältnifs der Strom mit der Zahl der Zellen wachsen soll oder nicht. Ist der äufsere Widerstand klein, so macht der Uebergang von 4 zu 8 Zellen sehr wenig aus, und ist dieser Widerstand eine verschwindende Gröfse, so ist eine Zelle so gut als eine Million.

Bei einer Untersuchung der magnetischen Eigenschaften der Krystalle, welche ich das Vergnügen hatte gemeinschaftlich mit Prof. Knoblauch anzustellen, hatte ich wiederholt Gelegenheit, ganz ähnliche Erscheinungen, wie die von Herrn Plücker bei der Kirschbaumrinde beobachtete, wahrzunehmen; allein ein näheres Studium des Gegenstandes überzeugte mich, dafs die Erklärung dieser Erscheinungen keineswegs die Hypothese von zwei in der beschriebenen Weise wirkenden Kräften nöthig macht. Die Versuche mit dem Uhrglase waren sehr complicirter Natur; das Glas bestand aus einer Mischung von magnetischen und diamagnetischen Substanzen; das Quecksilber in dem Glase war diamagnetisch, allein ein Messingring, worin das Glas hing, war wiederum magnetisch. Solch ein Apparat scheint nicht der möglichst beste zu seyn zur Entscheidung einer so wichtigen Frage. Ueberdies schien mir, dafs ein empfindlicheres Instrument als die von Hrn. Plücker gebrauchte Waage sich besser zur Messung so schwacher Kraftäufserungen eignen würde.

Eine genaue Bekanntschaft mit den elektro-magnetischen

Anziehungen schien mir für die Erforschung diamagnetischer Phänomene ein nothwendiges Erforderniß, und im Verfolge dieser Idee begann ich eine Untersuchung über die Wirkung eines Elektromagnets auf Massen von weichem Eisen, wobei ich zuletzt veranlaßt wurde, meine ganze Aufmerksamkeit auf die Anziehung von Kugeln aus weichem Eisen zu richten. Die erhaltenen Resultate waren so merkwürdig, daß sie mich bewogen, ihnen allein eine Abhandlung zu widmen ¹⁾.

Durch diese Untersuchung ergab sich, daß eine Kugel von weichem Eisen, getrennt von dem Pole eines Elektromagnets durch einen kleinen festen Abstand, mit einer Kraft genau proportional dem Quadrat des erregenden Stroms angezogen wird. Nun ist diese Anziehung jedenfalls das Product zweier Factoren, von denen der Magnetismus des Magnets den einen, und der Magnetismus der Kugel den andern darstellt. Wird z. B. der Magnetismus des Magnets in einem gegebenen Moment durch die Zahl 4, und der der Kugel durch 3 vorgestellt, so wird die Anziehung, welche eine Folge ihrer gegenseitigen Wirkung ist, durch die Zahl 12 vorgestellt. Nimmt man nun an, der Magnetismus des Magnets werde durch einen Strom von doppelter Stärke verdoppelt, so wird auch die Kugel ihren Magnetismus verdoppeln, und die daraus hervorgehende Anziehung wird durch die Zahl 48 ausgedrückt werden. So sieht man, daß eine Verdopplung der Kraft des Magnets eine Vervielfachung der Anziehung bewirkt, und daß, während die Anziehung wie das Quadrat des Stromes wächst, der Magnetismus der Kugel nur im einfachen Verhältniß des Stromes zunimmt.

Unser Weg zum Vergleich von Magnetismus und Diamagnetismus ist damit gebahnt. Wir kennen das Gesetz, nach welchem der Magnetismus einer Eisenkugel zunimmt, und haben bloß zu ermitteln, ob eine Wismuthkugel demselben Gesetze folge. Zur Untersuchung dieser Frage construirte ich nachstehenden Apparat.

1) Pogg. Ann. Bd. 83, S. 1.

In den beiden gegenüberstehenden Seiten eines quadratischen Holzkastens wurden zwei kreisrunde Löcher ausgesägt, hinreichend groß um ein Paar Drahtrollen von etwa 4 Zoll Durchmesser aufzunehmen. Die Löcher lagen einander diagonal gegenüber und durch jedes wurde eine Drahtrolle gesteckt und darin fest gekeilt. Jede Drahtrolle enthielt einen Kern von weichem Eisen, welcher so weit vorgeschoben wurde, daß eine Linie, welche den die Drahtrollen einlassenden Seiten des Kastens parallel war und die beiden andern Seiten halbirte, ein Viertelzoll von dem innern Ende eines jeden Kerns entfernt war (Fig. 15 Taf. II. zeigt das Wesentliche dieser Vorrichtung in einer Horizontalprojection). Der Abstand zwischen den beiden Enden betrug 6 Zoll und in diesem Raum wurde ein kleiner Stab von leichtem Holz aufgehängt. An den Enden dieses Stabes waren zwei löffelfartige Vertiefungen ausgehöhlt, in welche erforderlichenfalls zwei kleine Kugeln gelegt werden konnten. Der Stab ruhte in einem Papierbügel, welcher an dem einen Ende eines feinen Silberdrahts aufgehängt war. Der Draht, nahe drei Fuß lang, ging in einer Glasröhre in die Höhe, an deren oberen Ende er mit dem Torsionskopf verbunden war. Die Röhre war befestigt in einer dicken Glasplatte, welche als Deckel auf den Kasten gelegt wurde und somit auch den Stab vor Luftströmen schützte. Etwas unterhalb des Niveaus der Axen der Kerne war ein Boden von Bristolpapier befestigt, und dieses so geschnitten, daß es dicht an die Drahtrollen angeschlossen. Die beiden, an die respectiven Kerne anstoßenden und einander gegenüberstehenden Ecken des Bodens waren, jeder, mit einem graduirten Quadranten versehen. Beim Gebrauch des Instruments wurden zwei Kugeln von der zu untersuchenden Substanz in die löffelförmigen Vertiefungen des Stabes gelegt und genau aufgewogen. Das Gleichgewicht ward dadurch hergestellt, daß man den Stab in dem Papierbügel worin er lose lag, in der erforderlichen Richtung verschob. Um dieß mit größerer Leichtigkeit zu vollführen, waren in zwei Seiten des Kastens quadratische Löcher ausgesägt, und
zwei

zwei Holzstücke zur genauen Verschließung derselben zu-
recht geschnitten. Diese Stücke konnten nach Belieben
fortgenommen und dann die Hände hineingesteckt werden,
ohne den Deckel zu heben. Der Torsionskopf wurde dann
so vorgerichtet, daß, wenn der die Kugeln tragende Stab
zur Ruhe gekommen war, ein dünner, am Ende des Stabes
befestigter Glasfaden auf den Nullpunkt des getheilten
Quadranten zeigte, während auch der Zeiger des Kopfes
auf dem Nullpunkt des obern graduirten Kreises stand.
Durch die Drahtrollen wurde ein Strom in solcher Rich-
tung gesandt, daß die auf die Kugeln wirkenden Pole un-
gleichnamig waren. Die Kugeln wurden abgestoßen. Bei
constantem Strom wurde nun der obige Zeiger in einer der
Abstoßung entgegengesetzten Richtung gedreht, bis der Stab
wieder auf Null stand. Die dazu nöthige Torsion ist offen-
bar der Ausdruck für die bei diesen besonderen Abstand
ausübte Repulsivkraft.

Wenn der Glasfaden auf Null stand, trennte gewöhn-
lich ein Abstand von einer Linie die diamagnetischen Ku-
geln von den Enden der Kerne. Die Intensität des Stro-
mes wurde durch eine Tangentenbussole gemessen und mit-
telst eines Rheostats zweckgemäß abgeändert. Vor Be-
ginn einer jeden Reihe wurde immer der kleine Balken
geprüft. Bei sehr schwachem Strome zeigte er sich immer
schwach diamagnetisch, aber so schwach, daß seine Wir-
kung, selbst angenommen sie folge nicht demselben Gesetz
der Zunahme wie die Kugel (was sie jedoch sicher thut),
keine meßbare Störung veranlassen konnte.

Ich vernachlässigte keine Vorsicht, um mich der voll-
kommenen Reinheit der untersuchten Substanzen zu ver-
sichern, und hierin wurde ich durch einen Zufall unterstützt.
Die ganze Untersuchung wurde in dem Privatkabinet des
Prof. Magnus in Berlin angestellt und es traf sich, daß zu
derselben Zeit in dessen Laboratorium ein Anderer (Herr
Dr. Schneider) mit Bestimmung des chemischen Aequi-
valents vom Wismuth beschäftigt war. Von Diesem erhielt
ich eine Portion des Metalls, die auf folgende Art darge-

stellt war: — Käufliches Metall ward in Salpetersäure gelöst und durch destillirtes Wasser gefällt; das etwa vorhandene Eisen blieb in der Lösung. Der Niederschlag wurde abfiltrirt, sechs Tage lang gewaschen und dann durch schwarzen Fluß reducirt. Das so erhaltene Metall wurde wiederum in einem Hessischen Tiegel geschmolzen und unter fortwährendem Umrühren allmählig Salpeter hinzugesetzt. Jede rückständige Spur von fremder Beimischung wurde dadurch oxydirt, und, sowie sie zur Oberfläche stieg, sorgfältig abgeschäumt. Das so gereinigte Metall wurde in eine Kugelform gegossen, deren innere Oberfläche mit einer dünnen Oelschicht ausgestrichen worden. Die äußere Oberfläche jeder Kugel wurde mit Glas abgekratzt, dann mit Seesand gescheuert und endlich mit Chlorwasserstoffsäure gekocht. Nach Beendigung der Versuche übergab ich die Kugeln Hrn. Dr. Schneider, welcher so gut war, sie einer strengen Analyse zu unterwerfen. Sie wurden in Salpetersäure gelöst und durch Schwefelwasserstoffgas gefällt; das Filtrat, welches das Eisen enthalten mußte, wenn solches zugegen war, zeigte, mit Kaliumeisencyanid geprüft, nicht die geringste wahrnehmbare Spur von Eisen.

Die Methode des Experiments habe ich schon beschrieben. Die Wismuthkugeln wurden in die Vertiefungen des Balkens gelegt und ihre Abstofsung durch verschiedene Ströme in angegebener Weise bestimmt. Die dadurch erhaltenen Reihen von Abstofsungen sind genau analog den Reihen von Anziehungen bei den Eisenkugeln. Die Quadratwurzeln dieser Anziehungen geben eine Reihe von Zahlen genau proportional den angewandten Strömen. Die Frage ist: Werden die Quadratwurzeln aus den Abstofsungen eine ähnliche Reihe geben oder nicht?

Nennt man α den Winkel, welchen die von einem Strom abgelenkte Galvanometernadel mit dem Meridian macht, so wird man wenn die Anziehung der Eisenkugeln und die Abstofsung der Wismuthkugeln einem selben Gesetze folgen, die Gleichung haben;

$$\sqrt{T} = n \tan \alpha$$

wo T die zur Zurückführung des Balkens auf Null erforderliche Torsion vorstellt, und n eine von der Natur des Experiments abhängige Constante bezeichnet. Die folgende Tafel wird zeigen, wie weit diese Gleichung erfüllt worden.

Tafel I. Wismuthkugeln 8^{mm} Durchmesser.

$n = 11,7$				
α	$\text{tang. } \alpha$	T	\sqrt{T}	$n \text{ tang. } \alpha$
10°	0,176	5	2,23	2,06
20	0,364	16,3	4,04	4,25
30	0,577	42,3	6,50	6,74
35	0,700	64	8,00	8,19
40	0,839	100	10,00	9,81
45	1,000	136	11,66	11,70
50	1,192	195	13,96	13,95.

Eine zweite Reihe, gemacht mit einem Paar Kugeln aus käuflichem Wismuth, gab dasselbe Resultat.

Schwefel ist auch diamagnetisch, aber viel schwächer als Wismuth. Die nächste Reihe wurde mit Kugeln aus dieser Substanz angestellt.

Taf. II. Schwefelkugeln, 8^{mm} Durchmesser.

$n = 3,3$				
α	$\text{tang. } \alpha$	T	\sqrt{T}	$n \text{ tang. } \alpha$
20°	0,364	1,2	1,10	1,20
30 45'	0,595	3,0	1,73	1,96
41 20	0,880	8,0	2,83	2,90
54	1,376	21,0	4,58	4,54.

Nun wurden ein Paar Schwefelkugeln von fast dem doppelten Durchmesser gemacht.

Taf. III. Schwefelkugeln, 13^{mm} Durchmesser.

$n = 6,7$				
α	$\text{tang. } \alpha$	T	\sqrt{T}	$n \text{ tang. } \alpha$
20° 0'	0,364	6,2	2,45	2,44
30 45	0,595	15,0	3,87	3,98
41 20	0,880	34,5	5,90	5,89
54	1,376	89,0	9,42	9,22.

Der Schwefel, aus welchem diese Kugeln gemacht worden, war käuflicher. Nach dem Versuche wurde eine der Kugeln in einem sauberen Porcellantiegel gelegt und über

die Flamme einer Weingeistlampe gebracht; der Schwefel schmolz, glühte und verdampfte als schweflige Säure. Eine Portion von solider Substanz blieb in dem Tiegel unverflüchtigt zurück. Sie wurde in Chlorwasserstoffsäure gelöst und ein Paar Tropfen Kaliumeisencyanid hinzugefügt. Die Lösung bläute sich sogleich: es war also Eisen zugegen. Die andere Kugel, ähnlich untersucht, gab dasselbe Resultat; beide enthielten also eine geringe Beimischung von Eisen.

In diesem Falle waren also beide entgegengesetzte Kräfte, die magnetische und die diamagnetische, gegenwärtig, aber dennoch finden wir die Gleichung $\sqrt{T} = n \tan \alpha$ erfüllt. Nähme eine dieser Kräfte mit steigender Kraft des Magnets schneller zu als die andere, so würde dieß Resultat unmöglich seyn.

Schwefelblumen wurden nicht untersucht, weil sich fand, daß sie eine beträchtliche Menge Eisen enthielten. Ich verdanke dem Prof. Magnus ein Stück eines natürlichen Krystalls dieser Substanz aus Sicilien, welches sich beim Versuch als vollkommen rein erwies. Aus diesem wurden zwei Kügelchen geformt und in die Torsionswaage gelegt. Sie gaben folgende Resultate.

Tafel IV. Kugel von natürlichem Schwefel.

$n = 2,65$				
α	$\tan \alpha$	T	\sqrt{T}	$n \tan \alpha$
20°	0,364	0,9	0,95	0,96
30	0,577	2,5	1,58	1,53
40	0,839	5,0	2,24	2,22
45	1,000	7,0	2,64	2,65
50	1,192	10,0	3,16	3,16

Nächst dem wurde Kalkspath genommen. Ein Rhomboëder desselben wurde erst an den Ecken abgefeilt und dann mäsig zugerundet; hierauf wurde es zwischen zwei Stücken von weichem Sandstein gebracht, in deren jedem eine halbkugelförmige Vertiefung ausgehört worden war. Indem man nun diese Steine gegeneinander hin- und herrieb und etwas Wasser hinzusetzte, gelang es zuletzt,

bei etwas Geduld, dem Krystall eine kugelförmige Gestalt zu geben. Der Krystall wurde dann gewaschen und auf der Oberfläche sorgfältig mit Chlorwasserstoffsäure gereinigt. Das erste Kugelpaar war von Kalkspath aus der Nähe von Clitheroe in Lancashire.

Tafel V. Kalkspathkugeln, 9,2^{mm} Durchmesser.

$n=3,7.$				
α	$\text{tang. } \alpha$	T	\sqrt{T}	$n \text{ tang. } \alpha$
20°	0,364	1,8	1,34	1,34
25	0,466	3,0	1,73	1,72
30	0,577	4,5	2,12	2,13
35	0,700	7,0	2,64	2,59
40	0,839	9,7	3,11	3,10
45	1,000	14,0	3,74	3,70.

Der Kalkspath, aus welchem diese Kugeln verfertigt worden, war nicht ganz durchsichtig. Um zu ermitteln, ob diese Trübheit von der Gegenwart von Eisen herrührte, wurde ein etwa 3 Gramm wiegender Krystall in Chlorwasserstoffsäure gelöst und die Lösung der Luft ausgesetzt, um das etwa vorhandene Eisen zu oxydiren. Dann wurde Kaliumeisencyanid hinzugesetzt; allein es war nicht die geringste, Eisen andeutende Färbung wahrzunehmen.

Hierauf wurde eine Reihe von Versuchen mit Kugeln von Kalkspath von Andreasberg, im Harz, angestellt.

Tafel VI. Kalkspathkugeln, 10,8^{mm} Durchmesser.

$n=5.$				
α	$\text{tang. } \alpha$	T	\sqrt{T}	$n \text{ tang. } \alpha$
20°	0,364	2,8	1,68	1,82
25	0,466	5,0	2,21	2,33
30	0,577	8,0	2,83	2,83
35	0,700	11,2	3,35	3,50
37 30'	0,767	14,5	3,81	3,83
57	1,540	60,0	7,75	7,70.

Der zu diesen Kugeln dienende Kalkspath war vollkommen durchsichtig. Nach dem Versuch wurden die Kugeln theilweis in Chlorwasserstoffsäure gelöst und die Lösung wie zuvor geprüft, aber es zeigte sich keine Spur von Eisen.

Aus allen diesen und vielen anderen Versuchen, die ich anzuführen unterlasse, ergibt sich der Schluss: dafs das Gesetz der Zunahme für einen diamagnetischen Körper genau dasselbe ist wie für einen magnetischen, — ein Schluss, der mit dem von Hrn. Plücker unverträglich ist.

Ich war mit dieser Untersuchung schon weiter gediehen als bis zu gegenwärtigem Punkt als ich eine im Mayheft 1851 der *Annales de chimie et de physique* erschienene Abhandlung des Hrn. E. Becquerel über den Diamagnetismus kennen lernte. In dieser Abhandlung werden die Ansichten des Hrn. Plücker ebenfalls bestritten und Versuche angeführt, um die Identität der Gesetze der magnetischen Anziehung und der diamagnetischen Abstofsung zu erweisen. Das von Hrn. Becquerel angewandte Argument ist im Wesentlichen dasselbe wie das durch die obigen Versuche gelieferte. Er zeigt, dafs die Abstofsung bei Stäben von Wismuth, Schwefel und Wachs zunimmt, wie das Quadrat des erregenden Stromes, und dafs die Anziehung eines kleinen Eisenstabes demselben Gesetze folgt. Wir beide sind bei unseren Versuchen von denselben Grundsätzen geleitet, obwohl die Art der Ausführung derselben von einander abweicht. Der von mir befolgte Plan wurde durch die vorhin erwähnte magnetische Untersuchung angegeben, und ich hatte damals nicht die leiseste Ahnung, dafs Herr Becquerel Versuche derselben Art gemacht habe. Seine Priorität ist also nicht zu bestreiten.

Ich habe viele Erscheinungen beobachtet, welche ohne gehörige Erwägung direct zu Hrn. Plücker's Schlüssen führen. Ich will hier einige beschreiben. Ich legte die Wismuthkugeln auf den Balken und erregte blofs einen der Kerne; oben auf die gegenüberliegende Kugel klebte ich ein Eisenstückchen, nicht gröfser als ein Zwanzigstel eines gewöhnlichen Nadelknopfs. In der Drabtrolle circuirte ein Strom von 10^0 und der Balken kam in 4^0 Abstand vom Nullpunkt der unteren Theilung zur Ruhe. Nun liefs ich den Strom langsam wachsen. Der Magnetismus des Eisentheilchens und der Diamagnetismus des Wis-

muths stiegen natürlich mit demselben; allein der letztere überwog. Der Balken wurde abgestoßen und kam endlich gegen eine Hemmung zur Ruhe, der sich in 9° Abstand befand.

Das Eisentheilchen wurde entfernt und ein kleiner Krystall von kohlensaurem Eisenoxydul an seine Stelle gelegt. Ein Strom von 15° circulirte in der Drahtrolle und der Balken kam bei etwa 3° Abstand vom Nullpunkt zur Ruhe. Der Strom wurde langsam verstärkt, aber ehe er 30° erreicht hatte, siegte der Diamagnetismus und der Balken wich gegen die Hemmung zurück wie zuvor.

In der Meinung, dieser scheinbare Triumph des Diamagnetismus rühre davon her, daß der kleine Spatheisenkrystall mit Magnetismus gesättigt sey und nicht mehr dem für größere Massen dieser Substanz gültigen Gesetze folge, prüfte ich den Krystall für sich mit Strömen bis zu 49° ; allein die Anziehungen waren genau proportional dem Quadrat der erregenden Ströme.

Ich glaubte auch, eine gewisse Wechselwirkung zwischen dem Wismuth und dem Krystall, bei gleichzeitiger Anwesenheit beider im Magnetfelde, möge den letzteren so modificirt haben, daß daraus das beobachtete Resultat hervorging. Ich entfernte daher den Krystall und legte einen Würfel von käuflichem Zink auf das entgegengesetzte Ende des Balkens. Das Zink war schwach magnetisch. Wismuth und Zink waren somit durch einen Zwischenraum von 6 Zoll getrennt; beide Kerne wurden erregt durch einen Strom von 10° , und der Balken kam, nach einigen Schwingungen, bei $4''$ Abstand vom Nullpunkt zur Ruhe. Nach Unterbrechung des Stroms verlief er die Hemmung und kam nach einigen Schwingungen auf Null zur Ruhe.

Diese Versuche schienen die Angabe des Hrn. Plücker ganz zu bestätigen. In jedem Falle wartete ich, bis die entgegengesetzten Kräfte im Gleichgewicht waren; wir schienen jeder freies Spiel gegeben zu haben, aber allemal siegte der Diamagnetismus. Doch befreien wir den Versuch von allem Geheimnißvollen! Fragen wir, welche Kräfte wirk-

ten der Abstofsung des Wismuths entgegen, als der Balken bei einem Strom von 10° im Gleichgewicht war? Zunächst vor allem die Anziehung des Zinks, doch daneben auch die Torsion von 4° , denn die Gleichgewichtslage des Balkens bei unerregtem Magnet war bei 0° . Angenommen, der Magnetismus des Zinks bei 4° Abstand und bei einem Strom von 10° sey gleich 8° der Torsion, so giebt diese, hinzugefügt zu der schon bei 4° vorhandenen, die Kraft, welche dem Wismuth entgegenwirkt; die Abstofsung des letztern ist also $= 12$. Denken wir uns nun, der Strom werde von 10° auf 35° verstärkt, d. h. vervierfacht. In der Annahme, dafs der Magnetismus des Zinks im Verhältnifs der Stärke des Stromes wachse, wird seine Anziehung nun 32 seyn, und diese hinzugefügt zu den 4° der Torsion, welche constant blieb, macht 36. Diefs ist daher die Kraft, welche unter den vorausgesetzten Umständen durch einen Strom von 35° dem Wismuth entgegenwirkt. Allein die Abstofsung des Wismuths ist ebenfalls vervierfacht, — ist nun 48. Sie überwältigt also nothwendig eine Kraft von 36 und der Balken wird abgestofsen.

Wir sehen sonach, dafs, obwohl die magnetische Kraft auf der einen Seite, und die diamagnetische auf der andern genau demselben Gesetze folgt, doch die Einführung der kleinen Constante von 4° das Gleichgewicht der Wirkung gänzlich zerstört, so dafs alle diamagnetischen Erscheinungen in einem viel gröfseren Verhältnifs wachsen als die magnetischen. Eine solche Constante hat sich wahrscheinlich auch in die Versuche des Hrn. Plücker eingeschlichen, und dafs diefs übersehen worden, darf nicht Wunder nehmen, wenn man erwägt, dafs die Kraft damals eine ganz neue, und unsere Kenntnifs von den zu einer genauen Untersuchung erforderlichen Vorsichtsmafsregeln eine sehr unvollkommene war.

Hr. Plücker hat entdeckt, dafs wenn ein Krystall von reinem kohlensauren Kalk mit der optischen Axe horizontal im Magnetfelde aufgehängt wird, diese Axe sich immer aequatorial stellt. Diese Wirkung schreibt er einer Ab-

stofsung der optischen Axe durch den Magnet zu, die von dem Magnetismus oder Diamagnetismus der Masse des Krystalls ganz unabhängig sey. Sie ist das Erzeugniß einer neuen Kraft, die Faraday die Kraft der optischen Axe genannt hat.

In der von Knoblauch und mir veröffentlichten Abhandlung ist diese Ansicht bestritten, und gezeigt worden, daß die Wirkung des Krystalls, weit entfernt vom Magnetismus oder Diamagnetismus seiner Masse unabhängig zu seyn, gänzlich verändert wird bei Ersetzung eines magnetischen Bestandtheils für einen diamagnetischen. Unsere Resultate führten zu dem Schluß, daß die Lage des Kalkspathkrystalls herrühre von der überwiegenden Abstofsung der Masse des Krystalls in Richtung der optischen Axe.

Diese Ansicht, obwohl durch die stärksten Muthmaßungen unterstützt, ist doch bisjetzt ohne directen Beweis geblieben. Wenn jedoch ein solcher Abstofsungsunterschied, wie er hier vermuthet worden, wirklich existirt, so steht zu erwarten, daß er sich an der Torsionswaage zeigen werde.

Allein die gesammte Abstofsung des Kalkspaths ist so schwach, daß zur Entdeckung einer Differentialwirkung dieser Art eine große Feinheit des Versuchs erfordert wird. Dreimal kam ich auf diesen Gegenstand zurück. Zweimal ging ich fehl und verzweifelte, im Stande zu seyn, mit dem mir zu Gebote stehenden Apparat einen Unterschied festzustellen. Allein der Gedanke verlief mich nicht, und nach Verlauf von drei Wochen beschloß ich, ihn abermals auf die Probe zu stellen.

Ich legte die Kalkspathkugeln auf den Balken und aequilibrirte letzteren genau. Der Zeiger ward so gestellt, daß wenn der Balken zur Ruhe gekommen war, der daran sitzende Glasfaden genau zusammenfiel mit einem schwarzen Strich, der auf dem darunter liegenden Bristolpapier gezogen war. Auf dem Glasdeckel wurden zwei Tüpfel gemacht, etwa ein Fünftelzoll auseinander, und durch den Zwischenraum hin wurde der Glasfaden beobachtet. Der

Balken schwebte etwa 4 Zoll unter dem Deckel, und somit war die Parallaxe vermieden. Bei Erregung der Kerne wichen die Kugeln zurück; der Zeiger oben wurde sanft gegen den Rückgang gedreht, bis der Glasfaden wieder genau die feine schwarze Linie deckte. Die dazu erforderliche Torsion wurde oben auf dem getheilten Kreise abgelesen.

Die Abstofsung der Kugeln wurde bei vier verschiedenen Richtungen gemessen:

- 1) die optischen Axen im Parallelismus mit den Axen der Kerne;
- 2) die Kugeln gedreht um einen Bogen von 90° , so dafs die Axen winkelrecht gegen die Kerne waren;
- 3) die Kugeln abermals um 90° in derselben Richtung gedreht, so dafs das andere Ende der optischen Axen den Kernen zugewandt war;
- 4) die Kugeln abermals um 90° gedreht, so dafs ihre Axen wiederum rechtwinklig gegen die Kerne lagen, sie aber mit entgegengesetzter Seite wie in (2.) den letzteren zugewandt waren.

Folgendes waren die respectiven Abstofsungen:

In erster	Lage	28,5
„ zweiter	„	26,5
„ dritter	„	27,0
„ vierter	„	24,5.

Jede der Drahtrollen, welche die Kerne umgaben, bestand aus zwei von einander isolirten Drähten; die vier Enden liefsen sich so verknüpfen, dafs der Strom entweder beide Drähte gleichzeitig, oder den einen nach den andern durchlaufen konnte. Die erste Anordnung war vortheilhaft, wo es auf einen kleinen äufseren Widerstand ankam, die zweite dagegen, wenn die Kraft der Batterie so grofs war, dafs sie den äufsern Widerstand bis zu gewissem Grade zu einer gleichgültigen Sache machte. Bei den obigen Versuchen wurde die erste Anordnung gewählt. Vor dem Beginn derselben hatte ich jedoch frische Säure und

frisch amalgamirte Zinkcylinder genommen, so dafs die Batterie in gutem Zustande war.

Als ich die zweite Anordnung wählte, d. h. den Strom einen Draht nach dem andern durchlaufen liefs, wurden in den angegebenen Lagen folgende Abstofsungen beobachtet:

in der ersten 57

„ „ zweiten 51

„ „ dritten 53

„ „ vierten 48.

Diese Versuche liefern den directen Beweis, dafs der Kalkspath am stärksten in der Richtung der optischen Axen abgestofsen wird. Dafs es Hrn. Faraday nicht gelang, einen Unterschied nachzuweisen, erklärt sich aus der Art seines Experimentirens. Er beobachtete die Entfernung, bis in welche der Kalkspath abgestofsen würde, und fand dieselben gleich bei allen Lagen des Krystalls. Die Magnetkraft bei dieser Entfernung ist aber zu schwach, um einen Unterschied zu zeigen. Bei den obigen Versuchen dagegen wurde der Krystall in einem Theile des Magnetfeldes gehalten, wo die Erregung intensiv war, und hier stieg zum ersten Male der Unterschied zu einer mefsbaren Gröfse.

Kohlensaures Eisenoxydul ist ein Krystall von genau derselben Form wie der Kalkspath, indem das Eisen so zu sagen genau den vom Calcium eingenommenen Raum erfüllt. Im Magnetfelde aufgehängt, nimmt die Linie, welche sich beim Kalkspath aequatorial stellt, eine axiale Lage an, aber mit einer Stärke, welche die des Kalkspaths weit übertrifft. Es liefs sich daher beim Spatheisenstein eine gröfsere Differentialwirkung voraussehen.

Aus diesem Krystall wurden ein Paar Kugeln gebildet, allein ihre Anziehung war so stark, dafs, um sie von dem Magnet entfernt zu halten, der Draht über seine Elasticitätsgränze hätte angestrengt werden müssen. Es konnte daher nur eine Kugel angewandt werden; die andere diente blofs als Gegengewicht. Der der letzteren gegenüberlie-

gende Kern wurde fortgenommen und der Strom durch diejenige Drahtrolle gesandt, welche den andern Kern umgab.

An das Ende dieses Kerns wurde ein Stück Bristolpapier gelegt und der Torsionskopf so gedreht, daß, wenn der Zeiger oben auf Null stand, die kleine Kugel es so eben berührte. Bei Erregung des Magnetismus wurde die Kugel angezogen. Der Zeiger wurde nun der Anziehung entgegen gedreht, bis die Kugel fortging. Die dazu erforderliche Torsion drückte die Anziehung aus. Zuerst wurde der Krystall so gelegt, daß seine Axe dem Magnet parallel war, und darauf so, daß sie winkelrecht gegen denselben lag. Die folgenden Tafeln zeigen die Resultate in beiden Fällen.

Tafel VII. Spatheisenstein, Krystallaxe parallel der Magnetaxe.

$$n = 25,5.$$

α	$\text{tang. } \alpha$	T	\sqrt{T}	$n \text{ tang. } \alpha$
15°	0,268	4,3	6,56	6,57
20	0,364	8,0	8,94	8,91
25	0,466	12,9	11,36	11,42
30	0,577	20,0	14,14	14,14

Tafel VIII. Spatheisenstein, Krystallaxe winkelrecht zur Magnetaxe.

$$n = 20,7.$$

α	$\text{tang. } \alpha$	T	\sqrt{T}	$n \text{ tang. } \alpha$
15°	0,268	30,5	5,52	5,55
20	0,364	56	7,48	7,53
25	0,466	32,5	9,62	9,64
30	0,577	142,5	11,44	11,94

Aus diesen Versuchen lernen wir, daß das Gesetz, nach welchem die Anziehung des kohlensauren Eisens zunimmt, genau dasselbe ist, wie das, welches die Abstofsung des Kalkspaths befolgt, und daß bei beiden Krystallen die respectiven Kräfte in Richtung der optischen Axe die größte Stärke besitzen.

Betrachten wir für einen Augenblick die vollkommene Antithese zwischen Spatheisenstein und Kalkspath. Der

erste ist ein stark magnetischer Krystall. Aufgehängt vor einem einzelnen Magnetpol wird die Masse im Ganzen angezogen; allein in einer Richtung wird die Masse mit einer besonderen Kraft angezogen, und diese Richtung geht, wenn der Krystall zwischen zwei Polen hängt, von Pol zu Pol. Der Kalkspath dagegen ist ein diamagnetischer Krystall. Aufgehängt vor einem einzelnen Pol wird seine Masse im Ganzen abgestoßen; allein in einer Richtung wird die Masse mit besonderer Kraft abgestoßen, und diese Richtung ist, wenn der Krystall zwischen zwei Polen hängt, eine aequatoriale.

Dafs diese stärkere Anziehung und Abstofsung wirklich existirt, zeigt die Torsionswaage direct; es ist keine Vermuthung, es ist Thatsache. Der Spatheisensteinkrystall wird am stärksten angezogen, wenn die Linie, welche im Magnetfelde axial liegt, parallel zur Axe des Kerns ist; und der Kalkspathkrystall wird am stärksten abgestoßen, wenn die Linie, welche im Magnetfelde aequatorial liegt, auch parallel ist zur besagten Axe.

Eisenvitriol entfaltet im Magnetfelde eine bedeutend stärkere richtende Wirkung als der Kalkspath. Aus einigen grofsen Krystallen, die aus einer chemischen Fabrik herstammten, schnitt ich zwei saubere Würfel. Jeder wurde im Magnetfelde aufgehängt, und die Linie, welche sich axial stellte, darauf vermerkt. Das weifse Pulver, welches sich durch Verwitterung auf diesen Krystallen bildete, wurde fortgelöst, so dafs zwei durchsichtige Würfel zurückblieben. Diese wurden auf den Torsionsbalken gelegt, und, statt des Bristolpapiers, zwei Glasplatten an die Enden der Kerne gelebt. Die Adhäsion der Würfel, welche bei den feinen Versuchen dieser Art oft als störendes Element auftritt, war hiedurch auf ein Minimum reducirt. Wie beim Spatheisenstein wurde nur einer der Kerne erregt. Der diesem Kerne gegenüber befindliche Krystall wurde zuerst so gestellt, dafs die Linie, welche im Magnetfelde axial lag, dem Kerne parallel war; dann wurde er um 90° gedreht, so dafs dieselbe Linie winkelrecht gegen den Kern lag; hierauf in

derselben Richtung 90° weiter gedreht, so dafs die der ersten gegenüberstehende Seite des Würfels dem Glase zugewandt war; und endlich abermals in derselben Richtung um 90° gedreht. So wurden successive vier Seiten des Würfels dem Magnete dargeboten.

Eisenvitriolkrystall, Kantenlänge 10^{mm} .

Anziehung in erster Lage 43,0

„ „ zweiter „ 36,3

„ „ dritter „ 40,0

„ „ vierter „ 34,5.

Bei diesem Krystall steht also die Anziehung in Richtung der Magnetaxe zu der in darauf winkelrechter Richtung beinahe im Verhältnisse 7:6.

In einem aus Poggendorff's Annalen übersetzten Artikel des *Philosophical Magazine* finde ich, dafs Herr Plücker mit einem Würfel eben desselben Krystalls experimentirt und Resultate erlangt hat, welche er gegen die von Knoblauch und mir aufgestellte Theorie der magnetkrystallischen Wirkung anführt. Mit Recht folgert er, dafs, wenn die Lage des zwischen den Polen aufgehängten Krystalls von der in gewisser Richtung vorwaltend ausgeübten magnetischen Anziehung herrühre, diese Eigenthümlichkeit sich auch in der Anziehung der ganzen Masse des Krystalls durch einen einzigen Magnetpol zeigen müsse. Er prüft diesen Schlufs durchs Experiment, indem er den Krystall an das eine Ende seiner Waage hängt, die Anziehung misst, und dabei findet, dafs diese in der Magnetkrystallaxe nicht gröfser ist, als in jeder anderen Richtung. Das Resultat rührt jedoch gänzlich von der Unvollkommenheit seines Apparates her. Eine gewöhnliche Waage und namentlich eine starke Waage ist durchaus unpassend zu Versuchen dieser Art. Selbst bei der Torsionswaage sind bedeutende Handgeschicklichkeit und grofse Geduld erforderlich, um zu unveränderlichen Resultaten zu gelangen. Es ist also Thatsache, dafs Herrn Plücker's Folgerung aus der Theorie streng vom Versuch bestätigt wird, und damit fällt sein ganzes Argument.

Faraday hat entdeckt, daß ein im Magnetfeld aufgehängter Wismuthkrystall sich so stellt, daß eine auf der Ebene der ausgezeichnetsten Spaltung winkelrechte Linie axial zu liegen kommt; diese Linie nennt er die Magnetrystallaxe des Krystalls. In der zuvor erwähnten Abhandlung wird behauptet, diese Lage der Magnetrystallaxe sey ein secundäres Resultat, davon abhängig, daß die Masse in Richtung der Spaltungsebenen am stärksten abgestoßen werde.

Hier liefert uns wieder die Torsionswaage den directesten Beweis von dieser Behauptung. Es wurden zwei Wismuthkrystalle angefertigt, an denen beiden die Ebenen der leichtesten Spaltung zwei gegenüberstehende Seiten bildeten. An einem Coconfaden im Magnetfelde aufgehängt, begab sich die auf der Spaltungsebene winkelrechte Linie in die axiale Lage, oder was, sofern es das Auge betrifft, dasselbe ist, die Spaltungsebene selbst wich vom Pole zurück und stellte sich aequatorial.

Diese Kugeln wurden auf die beiden Enden des Torsionsbalken gelegt, erst so, daß die Ebene der leichtesten Spalten parallel den Axen der Kerne, und dann so, daß sie zu ihnen winkelrecht war. Die respectiven Abstossungen sind in folgenden Tafeln angegeben.

Tafel IX. Wismuthwürfel, Kantenlänge 6^{mm}.

Ebene leichtester Spaltung parallel den Axen der Kerne.					
α	20°	30°	40°	45°	50°
T	11,7	34,8	78	111	153.

Tafel X. Dieselben Würfel.

Ebene leichtester Spaltung, winkelrecht zu den Axen der Kerne.					
α	20°	30°	40°	45°	50°
T	8	23	53	76,5	110.

Ein Vergleich dieser Tafeln zeigt uns, daß bei den Würfeln die Abstossung, wenn die Ebene der leichtesten Spaltung parallel war zur Magnetaxe, sich zu der, wenn diese Ebene winkelrecht darauf war, beinahe wie 15:11 verhielt. Das allgemeine Factum der stärkeren Abstossung in

Richtung der Spaltungsebene ist schon von Hrn. Faraday beobachtet worden.

Was ist nun die Ursache dieser höheren Kraftäufserung in einer gewissen Richtung? Ich kenne keine Frage, auf welche der Versuch so willig und verständlich antwortet, als diese. Wenn die Anordnung der Bestandtheile eines Körpers eine solche ist, daß dieselben in verschiedenen Richtungen einen verschiedenen Grad von Nähe besitzen, so wird die Linie der kleinsten Nähe, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, diejenige seyn, in welcher die respectiven Kräfte die größte Energie entwickeln. Ist die Masse eine magnetische, so liegt diese Linie axial; ist sie eine diamagnetische, so liegt sie aequatorial.

Die Torsionswaage liefert nun einen neuen Beweis für diese Theorie. Eine Quantität Wismuth wurde in einem Agatmörser zu Pulver zerrieben, und dieses mit etwas Gummiwasser zu einem steifen Teige angeknetet. Der Teig wurde zwischen zwei Glasplatten zusammengepreßt, dann getrocknet und zwei Würfel daraus geschnitten, so, daß die Linie der Compression auf zwei Seiten eines jeden Würfels rechtwinklich und zu den übrigen vier parallel war. Aufgehängt an einem Coconfaden im Magnetfelde drehte sich die Linie der Compression, bei Schließung der Kette, mit Stärke in die aequatoriale Lage, genau wie die Ebene der leichtesten Spaltbarkeit bei dem Krystall.

Die Würfel wurden nun auf die beiden Enden des Torsionsbalken gelegt, erst mit der Compressionslinie parallel den Kernen, und dann mit derselben winkelrecht gegen diese. Folgendes waren die in beiden Fällen beobachteten Abstofsungen:

Tafel XI. Würfel von Wismuthpulver, Kantenlänge 7^{mm}.

Compressionslinie parallel den Axen der Kerne.

α	$\text{tang. } \alpha$	T	\sqrt{T}	8,3 tang. α
30°	0,577	22	4,69	4,78
40	0,839	46	6,78	6,96
45	1,000	67	8,19	8,30
50	1,192	98	9,89	9,89

Aus

Aus dieser Tafel ersehen wir, dafs das Gesetz der Zunahme für den künstlichen Würfel dasselbe ist, wie das für magnetische Substanzen im Allgemeinen.

Tafel XII. Dieselben Würfel.

Compressionslinie winkelrecht zu den Kernen.

α	30°	40°	45°	50°
T	13	31	46	67.

Eine Vergleichung beider Tafeln zeigt, dafs die Linie, welche im Magnetfelde aequatorial liegt, in der Torsionswaage am stärksten angestossen wird, genau wie bei dem Krystall, und dafs die Abstossung in Richtung dieser Linie sich zu der in winkelrechter Richtung verhält nahe wie 3:2.

Aehnliche Versuche wurden mit gepulvertem Spatheisenstein angestellt. Die Compressionslinie lag im Magnetfelde axial, und die Masse, in die Torsionswaage gelegt, wurde in Richtung dieser Linie am stärksten *angezogen*.

Gegen diese Experimentirweise hat Prof. William Thomson auf der letzten Britischen Naturforscher-Versammlung einen Einwurf erhoben, der sich vermuthlich Allen darbieten wird, die den Gegenstand so gründlich wie er studiren. »Sie haben,« sagt er, »die Masse zwar gepulvert, aber damit noch nicht die Krystallinität zerstört; ihr Pulver ist eine Sammlung kleiner Krystalle und das Zusammenpressen der Masse ruft ein Vorwalten der Axen in gewisser Richtung hervor, so dafs die Abstossung und Anziehung der Compressionslinie, welche sie von einer blofs dichteren Aggregation ableiten, nach Allem ein Product der Krystallaction ist.«

Ich weifs, dafs dieser, besonders gegen die Versuche mit gepulvertem Wismuth und Kalkspath gerichtete Einwurf, von Vielen in Deutschland und England getheilt wird, und will mich daher bemühen, eine volle und offene Antwort zu geben. Es kann eingewandt werden, dafs wenigstens beim Wismuthpulver die Zusammendrückung die Tendenz habe, die kleinen Krystalle desselben in solche Lage zu bringen, dafs ein dem wirklich beobachteten Verhalten

genau umgekehrtes sich voraussetzen lasse. Zermahlen wir den Krystall zu einem feinen Staub, so müssen die Theilchen dieses Staubes, um Thomson's Hypothese verständlich zu machen, eine gewisse vorwaltende Gestalt haben; sonst ist kein Grund da anzunehmen, daß der Druck die Axen der kleinen Krystalle veranlasse, immer dieselbe vorwaltende Richtung anzunehmen. Welche Gestalt ist hier nun die wahrscheinlichste? Die Krystalle spalten in einer Richtung leichter als in allen übrigen; ist es daher nicht wahrscheinlich, daß das Pulver vorzugsweise aus Schüppchen bestehe, welche die Ebenen der Hauptspaltung zu gegenüberstehenden Flächen haben? Werden sich nicht diese Schüppchen mit ihren flachen Seiten winkelrecht gegen die Linie stellen, in welcher der Druck ausgeübt wird?

Bei dem Krystall stellt sich die auf der Hauptspaltung winkelrechte Linie axial, und hiernach sollte man erwarten, daß die Compressionslinie des Modells sich auch axial stellen werde; — allein sie thut es nicht, sie stellt sich aequatorial.

Diese, obwohl sehr wahrscheinliche Argumentation ist jedoch keine überzeugende, und es ist nicht leicht eine solche aufzufinden. Wismuthpulver wird krystallinisch bleiben, und Kalkspathpulver steht auch in diesem Verdacht. Ich glaubte, ich hätte in der Kreide eine einwurfsfreie Substanz gefunden, insofern Prof. Ehrenberg gefunden hat, daß dieselbe bloß aus mikroskopischen Muscheln besteht; allein Prof. Ehrenberg hat mich belehrt, daß selbst diese Muscheln, deren Sichtbarmachung eine hohe Vergrößerungskraft erfordert, wiederum aus unendlich kleinen Krystallen bestehen. In diesem Dilemma steht nur ein Weg offen. Wir wollen den Einwurf einstweilen zugeben und ihm in seinen unvermeidlichen Folgerungen nachgehen. Wenn diese den Thatsachen widersprechen, so fällt damit auch natürlich der Einwurf.

Angenommen, das feine Wismuthpulver sey so angeordnet, daß der Krystall, von welchem es abstammt, als wiederhergestellt betrachtet werden könne. In diesem Fall liegen die

Axen aller componirenden Krystalle parallel; sie wirken übereinstimmend und folglich muß ihre Wirkung größer seyn, als wenn bloß eine Mehrheit von ihnen parallel liegt. Im Wismuthkrystall muß also der Unterschied der Wirkung in der Linie der Magnekrystallaxe und in der darauf winkelrechten Richtung ein Maximum seyn. Er muß z. B. größer seyn, als jeder Unterschied, welchen das Wismuthmodell etwa zeigen kann; denn bei diesem muß ein Theil der der Axe zugeschriebenen Kraft vernichtet werden durch die verworrene Gruppierung der kleinen componirenden Krystalle. Nach Prof. Thomson's Worten ist es bloß ein Aufwiegen der Wirkung, hervorgebracht durch ein Vorwalten, welches sich hier kund geben kann. Messen wir also beim Krystall die Abstofsung in einer der Hauptspaltbarkeit parallelen und in der darauf winkelrechten Richtung, und messen auch beim Modell die Abstofsung in Richtung der Compressionslinie und winkelrecht darauf; so muß das Verhältniß der beiden ersteren Abstofsungen, d. h. das der ersten zur zweiten, größer seyn als das der beiden letzten, d. h. das der dritten zur vierten.

Betrachten wir die Tafeln IX. u. X., so sehen wir, daß bei dem Krystall das Verhältniß zur Abstofsung in Richtung der Hauptspaltbarkeit zu der in einer darauf winkelrechten Richtung durch den Bruch $\frac{15}{11} = 1,36$ ausgedrückt wird. Wenden wir uns zu den Tafeln XI. und XII., so finden wir beim Modell das Verhältniß der Abstofsung in der Compressionslinie zu der in darauf winkelrechter Richtung ausgedrückt durch den Bruch $\frac{3}{2} = 1,5$. Im letzteren Falle haben wir also einen größeren Differential-Effect, welches Resultat, wäre die Abstofsung bloß aus dem Vorwalten der Richtung der Axen entstanden, wie es Hr. Thomson vorgiebt, sicher Aehnlichkeit haben würde mit dem Schluß, daß ein Theil größer sey als das Ganze.

Dies Resultat ist ganz ungesucht gefunden. Die Modelle wurden nur in der Absicht gefertigt, die allgemeine Thatsache, daß die Abstofsung in der Compressionslinie am größ-

ten sey, festzustellen. Dafs das Resultat in der beschriebenen Weise ausgefallen, ist reiner Zufall. Ich zweifle nicht im Geringsten, dafs man Modelle anfertigen könnte, bei denen der Wirkungsunterschied doppelt so grofs wie bei Krystallen wäre.

Die Sache ist jedoch nicht frei von Verdacht. Das Gummi, welches zum Binden des Pulvers nöthig ist, kann möglicherweise einen geheimen Einflufs ausüben. Wir wissen, dafs Hausenblase oder Gallerte beim Zusammendrücken ähnliche optische Erscheinungen wie die Krystalle zeigen. Das Pressen des metallischen Teiges könnte also möglicherweise in dem gummigen Theil eine Art von krystallinischem Gefüge veranlassen, welches hinreichte, die beobachteten Erscheinungen hervorzubringen.

Der folgende Versuch wird diesen Zweifel beseitigen. Es wird nicht nur den Effect der Compression, getrennt von der blofsen Anordnung der Axen oder dem Einflufs des Gummis, da keins angewandt wurde, zeigen, sondern auch die gänzliche Nichtigkeit der vorgeblichen Axialkraft, wenn sie dem Einflufs der Compression entgegenwirkt, beweisen. Auf diesen Versuch wurde ich durch folgenden Zufall geleitet.

Wiederholt nahm ich Gelegenheit, das Verhalten von Krystallen im Magnetfelde zu beobachten, um diefs Verhalten zu vergleichen mit der Anziehung und Abstofsung der ganzen Masse in der Torsionswaage. Durch die Güte des Prof. Magnus wurde der grofse Elektromagnet des Universitätskabinetts in das Zimmer gestellt, wo ich experimentirte. Eines Morgens hing ich einen schönen Wismuthwürfel zwischen den verschiebbaren Polen auf, und, die Eigenthümlichkeiten des Instruments nicht kennend, schob ich die Pole zu nahe aneinander. Beim Schliesen der Kette wich der Hauptblätterdurchgang des Krystalls zum Aequator zurück. Kaum war dieser jedoch erreicht, als ich bemerkte, dafs die Pole sich gegeneinander bewegten, und ehe ich Zeit hatte, die Kette zu öffnen, waren sie zusammengerutscht und hatten den Krystall zwischen sich

gefaßt. Der Druck auf den Würfel preßte ihn etwa zu drei Viertel seiner früheren Dicke zusammen, und sogleich fiel mir bei, daß die Proximitätstheorie, wenn sie richtig sey, sich hier bewähren müsse. Der Druck hatte die Theilchen des Krystalls in der Compressionslinie dichter zusammengebracht, und hiernach war eine Abänderung, wo nicht eine gänzliche Umkehrung, der früheren Wirkung zu erwarten. Nachdem ich den Krystall in Freiheit gesetzt, kochte ich ihn in Chlorwasserstoffsäure, um jede beim Contact mit dem Eisen etwa erhaltene Verunreinigung zu entfernen. Dann hing ich ihn wieder zwischen den Polen auf und sah dabei die erwähnte Vermuthung vollständig bestätigt. Die Compressionslinie, d. h. die Magnekrystallaxe des Krystalls, welche sich früher von Pol zu Pol stellte, richtete sich nun stark aequatorial. Ich brachte jetzt absichtlich die Pole näher aneinander, und liefs sie noch einmal auf den schon comprimierten Krystall stoßen. Das ursprüngliche Verhalten ward dadurch vollständig wieder hergestellt. Dieses wurde mehrmals mit verschiedenen Krystallen wiederholt und immer mit demselben Erfolg. Immer stand die Compressionslinie aequatorial und es war vollkommen gleichgültig, ob diese Linie die Magnekrystallaxe war oder nicht.

Der Versuch wurde nun mit einem gewöhnlichen Schraubstock wiederholt. Von zwei Kupfermünzen rieb ich das Gepräge mit Sandpapier ab und polirte die Oberflächen. Zwischen die dadurch erhaltenen Platten legte ich verschiedene Stücke Wismuth und preßte sie stark zusammen. Auf diese Weise wurden Wismuthplatten erhalten von ungefähr der Dicke eines engl. Schillings und von einem halben bis ganzen Zoll in Länge. Obwohl der Diamagnetismus der Substanz eine solche an ihrem Rande zwischen den Polen aufgehängte Platte stark in die aequatoriale Lage zu bringen suchte und obwohl die der Magnekrystallaxe beigelegte Kraft in Uebereinstimmung mit dem Diamagnetismus der Substanz wirkte, so wurden doch beide überwältigt. Jede Platte stellte sich gleich einem magnetischen

Körper mit ihrer Länge von Pol zu Pol, und mit ihrer Proximitätslinie, welche mit der Magnekrystallaxe zusammenfiel, aequatorial.

Die stärkere Abstofsung der Compressionslinie zeigte sich auch in diesem Falle bei der Torsionswaage. Die gebrauchten Würfel wurden in einem Schraubstock auf $\frac{4}{5}$ ihrer ursprünglichen Dicke zusammengepresst. Die Compressionslinie lag jedesmal winkelrecht gegen den Hauptblätterdurchgang, und folglich parallel der Magnekrystallaxe. Aus den somit länglich gemachten Massen wurden zwei neue Würfel gebildet; diese, in den angegebenen Lagen auf die Torsionswaage gelegt, gaben folgende Resultate.

Tafel XIII. Wismuthkrystalle, comprimirt Würfel.

Ebene leichtester Spaltbarkeit parallel zu den Magnetaxen.					
α	20°	30°	40°	45°	50°
T	7,8	21	47	67	101.

Tafel XIV. Dieselben Würfel.

Ebene leichtester Spaltbarkeit, winkelrecht zu den Magnetaxen.					
α	20°	30°	40°	45°	50°
T	9,0	25,5	57,3	79	113.

Schauen wir auf Tafel IX. und X. zurück, so sehen wir, daß die Linie, welche dort am stärksten abgestoßen wurde, es hier am schwächsten ward, und umgekehrt. Die Verschiedenheit entsprang aus der Compression.

Aehnliche Versuche machte ich auch mit Substanzen, hinsichtlich deren Amorphismus kein Zweifel obwalten kann. Eine sehr zweckmäßige Substanz zum Erweise des Einflusses der Zusammendrückung ist weißes Wachs. Ein kleiner Cylinder aus dieser Substanz wurde mit seiner Axe horizontal im Magnetfelde aufgehängt; er stellte sich aequatorial. Hierauf wurde er zwischen zwei starken Glasplatten zur Dünnhheit eines engl. *Six-pence*-Stücks zusammengepresst. Die stärkere Abstofsung der Compressionslinie im Magnetfelde war hinreichend, den großen mechanischen Vortheil zu überwäligen, welchen eine solche Platte bei Aufhängungen an ihrem Rande darbot; die frühere Wir-

kung kehrte sich um, und die vorhin die Axe des Cylinders bildende Linie stellte sich von Pol zu Pol.

Hierauf zerschnitt ich die Platte in kleine Quadrate, legte sie aufeinander und presste sie alle zu einer compacten cubischen Masse zusammen. Zwei solcher Würfel wurden in die Torsionswaage gelegt und die Abstofsung in der Compressionslinie und winkelrecht darauf bestimmt; die erstere war bedeutend stärker als die letztere.

Ich nahm Krume von frischem Weisbrot und presste sie zwischen Glasplatten eine halbe Stunde lang zusammen. Aus der dadurch erhaltenen Platte formte ich ein Oblong und hing es an seinem Rande im Magnetfelde auf; es stellte sich, gleich einem magnetischen Körper, mit seiner längsten Dimension von Pol zu Pol. Die Masse war diamagnetisch, die Compressionslinie fiel mit der kürzesten Dimension zusammen und lag also diametral.

Feines Weizenmehl wurde mit destillirtem Wasser zu einem steifen Teige angeknetet und die diamagnetische Masse zu einem dünnen Kuchen zusammengedrückt. Der Kuchen, an seinem Rande aufgehängt, stellte sich mit seiner längsten Dimension immer axial; die Compressionslinie lag also aequatorial.

Roggenmehl, aus welchem die Deutschen ihr Schwarzbrot backen, in ähnlicher Weise behandelt, gab dieselben Resultate.

Ich besitze eine längliche Schieferplatte aus der Nähe von Blackburn in Lancashire, mittelst welcher sich Plücker's erste Versuche mit Turmalinplatten vollkommen genau nachahmen lassen. Die Masse ist magnetisch wie ein Turmalin. Aufgehängt an der Mitte einer ihrer Ränder stellt sie sich axial; dies entspricht der Turmalinplatte, wenn die Axe des Krystalls vertical ist. Aufgehängt an der Mitte des anliegenden Randes stellt sie sich, selbst stärker, aequatorial; dies entspricht der Turmalinplatte, wenn die Axe des Krystalls horizontal liegt. Schiefst man die Augen und ermittelt die respectiven Lagen der Schieferplatte und der Plücker'schen Turmalinplatte durchs

Gefühl, so ist es unmöglich, das Verhalten der einen von dem der andern zu unterscheiden.

Wer den Einfluß der Proximität läugnet, müßte auch folgende Fragen zu beantworten im Stande seyn: Wie ist es möglich, daß ein Würfel aus Wismuthpulver eine größere Differentialwirkung zeigen kann als der Krystall selbst? Was veranlaßt die MagnekrySTALLaxe des Krystalls ihre gewöhnliche Lage zu verlassen und sich aequatorial zu stellen, wenn die Masse in Richtung dieser Axe zusammengedrückt wird? Ueberdies müßte er ein krystallinisches Gefüge annehmen in Substanzen, wie Wachs, Mehl, Schiefer und frische Brotrume.

Noch ein Wort in Betreff des Versuchs mit der Kirschbaumrinde. Ich bin so glücklich, Jedem der ein specielles Interesse an dem Gegenstande nimmt, mit einem Stabe chemisch reinen Wismuths versehen zu können, welcher nicht die geringste Spur von Magnetismus verräth und dagegen genau die bei der Kirschbaumrinde beobachteten Erscheinungen zeigt. Diese Erscheinungen erfordern also nicht die Hypothese von zwei widerstreitenden Kräften, von denen die eine oder die andere überwiegt, je nachdem die Pole des Magnets mehr oder weniger entfernt sind. Bereits habe ich eine Untersuchung angefangen, in der das Verhalten der Rinde und andere analoge Erscheinungen vollständig erörtert werden.

Jeder Physiker, welcher sich experimentell mit elektromagnetischen Anziehungen beschäftigt hat, muß überrascht worden seyn von der großen und schnellen Abnahme der Anziehungskraft in unmittelbarer Nähe der Pole. Bei Versuchen mit Kugeln von weichem Eisen habe ich im Allgemeinen gefunden ¹⁾, daß ein Abstand von 0,01 Zoll zwischen der Kugel und dem Magnet hinreichend ist, die Kraft, mit welcher die erstere angezogen wird, auf 0,1 der bei unmittelbarem Contact ausgeübten Anziehung zu reduciren. Jeder, der hiermit bekannt ist, und zu gleicher Zeit weiß, mit welcher verhältnißmäßigen Trägheit eine Wismuthku-

1) Siehe S. 1 dieses Bandes der Annalen.

gel, bei großer Nähe an den Polen, der Abstosungskraft dieser gehorcht, muß ein genau umgekehrtes Gesetz, wie das von Hrn. Plücker aufgestellte, für ungemein wahrscheinlich halten.

Die Wismuthkugeln wurden in die Torsionswaage gebracht und oben auf einer derselben ein Eisenspäncchen gelegt. Mit dieser zusammengesetzten Masse wurde der Raum vor einem Kern, der durch einen Strom von 50° erregt worden, ergründet. Durch sanftes Drehen des Torsionskopfes wurde der Balken in verschiedene Lagen gebracht, bald näher, bald ferner vom Magnet. Die Gleichgewichtslage des Balkens bei unerregtem Kern war immer auf 0° . Hatte man den Balken bis zu einem Abstand von 4° (etwa 0,3 Zoll) vom Ende des Kernes fort gedreht, so wich er, bei Erregung des Magnets, noch weiter zurück und blieb an einem Hemmniss bei 9° Abstand stehen. Wurde der Strom unterbrochen, so verlief der Balken das Hemmniss und näherte sich dem Magnet, allein als man, ehe er 3° erreicht hatte, den Strom abermals schloß, wich er wieder zurück und kam an dem Hemmniss wie zuvor zur Ruhe.

Den Strom constant auf 50° haltend, drehte man nun den Torsionskopf sanft gegen die Abstosung und bewirkte hiedurch, daß die Kugel sich langsam dem Magnete näherte. Die Abstosung fuhr fort, bis der Glasfaden des Balkens auf 2° stand; hier trat plötzlich eine Anziehung ein; die Kugel begab sich schnell in Contact mit dem Kern, und es erforderte eine Torsion von 50° um sie loszureißen.

Nachdem die Kette geöffnet worden und der Balken auf Null zur Ruhe gekommen war, brachte man Kugel und Kern $\frac{1}{12}$ Zoll von einander. Beim Schließen der Kette wurde der Balken *angezogen*.

Nach abermaliger Oeffnung der Kette wurde die Torsion so eingerichtet, daß der Faden des Balkens, wenn dieser zur Ruhe gekommen war, auf 3° zeigte. Beim Schließen der Kette wurde der Balken *abgestoßen*.

Zwischen 0° und 3° gab es hier also eine Lage instabilen Gleichgewichts für den Balken; von diesem Punkt an bis zum Kern überwog die Anziehung, jenseits desselben dagegen die Abstossung.

Bei Annäherung an den Pol sahen wir also hier die Anziehung des magnetischen Theilchens viel schneller wachsen als die Abstossung der diamagnetischen Kugel, — ein dem Plücker'schen genau entgegengesetztes Resultat, wie es Jeder, der elektro-magnetische Anziehungen studirt hat, erwarten wird. Der Versuch würde indess keineswegs die Folgerung rechtfertigen, dafs im Allgemeinen *Magnetismus* schneller wachse als *Diamagnetismus*. In der That können wir uns durch den unachtsamen Gebrauch dieser abstracten Worte leicht in Schwierigkeiten verwickeln. Die Anziehung des Eisens ist nicht allein Magnetismus, wie das Wort gewöhnlich verstanden wird. Herr Plücker nennt die Anziehung seines Uhrglases Magnetismus, und ebenso auch die Anziehung eines Eisensalzes. Allein die Anziehung eines Eisensalzes nimmt beim Nähern und Entfernen der Magnetpole unvergleichlich langsamer zu und ab, als die Anziehung des Eisens selbst. In der gewöhnlichen Sprachweise würde man, um dies Resultat auszudrücken, sagen müssen, der Magnetismus nehme schneller zu und ab als der Magnetismus. Eine gröfsere Schärfe der Definition würde hier gewifs nützlich seyn.

Ich will nun von der eben erwähnten merkwürdigen Thatsache beim Eisensalz den Beweis liefern, und habe nur zu bedauern, dafs meine Zeit in Berlin mir nicht mehr erlaubte, die Andeutungen weiter zu verfolgen, als ich es gethan.

An einem Ende des Balkens einer sehr feinen Waage, die Prof. Magnus mir geliehen hatte, hing ich eine Kugel aus weichem Eisen von $\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser auf. Darunter, etwa 0,1 Zoll von der Kugel, wenn der Waagbalken horizontal lag, war das flache Ende eines senkrechten Elektromagnets. Als durch die ihn umgebende Drahtrolle ein Strom von 30° gesandt wurde, sank die Kugel auf das

Ende des Magnets herab und die zum Abreißen derselben erforderliche Kraft betrug 90 Gramm. Nun wurde eine Platte von dünnem Fensterglase auf das Ende des Magnets gelegt, auf der die Kugel, wenn sie angezogen ward, liegen blieb. Um sie loszureißen, wenn der Magnet durch denselben Strom erregt war, ward das Gewicht von 1 Gramm erfordert. Hier also war ein Zwischenraum von $\frac{1}{13}$ Zoll hinlänglich, um die Anziehung auf $\frac{1}{10}$ von der beim Contact zu reduciren.

Eine Kugel von Eisenvitriol, etwas größer im Durchmesser als die Eisenkugel, wurde auf das eine Ende der Torsionsbalken gelegt. Der gegenüberliegende Eisenkern wurde durch einen Strom von 30° erregt, und nun die Kraft bestimmt, welche zum Losreißen der Kugel von dem Kerne nöthig war; sie betrug 20° Torsion. Dieselbe Glasplatte, die zum vorigen Versuch gedient hatte, wurde an den Kern gelegt, und die, bei einem Strom von 30° , zum Abtrennen erforderliche Kraft abermals gemessen. Der Unterschied, der beim weichen Eisen $\frac{89}{90}$ der ursprünglichen Anziehung betrug, war hier fast unmerklich. Bei einem Abstände von $\frac{1}{13}$ Zoll wurde die Eisenvitriolkugel sehr nahe mit derselben Kraft angezogen wie bei unmittelbarer Berührung.

Ähnliche Versuche wurden mit einem Kügelchen von Spatheisenstein angestellt und zwar mit demselben Resultat. In einem Abstand von $\frac{1}{4}$ Zoll war die Anziehung zwei Drittel von der beim Contact. Beim Eisen dagegen ist ein Abstand von 0,001 Zoll mehr als hinreichend, eine ähnliche Abnahme zu bewirken.

Ein Eisensalz gleicht dem Eisen in unmittelbarer Nähe an den Polen mehr als in größerer Ferne, und eine Wisnuthkugel verhält sich in dieser Beziehung genau wie ein Eisensalz. Eine kleine Veränderung in der Lage wird bei dem einen keinen großen Unterschied in der Anziehung, und bei dem andern keinen in der Abstossung hervorbringen. Um die Antithese zwischen Magnetismus und Diamagnetismus vollkommen zu machen, wäre uns ein noch un-

entdecktes Metall nöthig, dessen Kraft und Polarität mit denen des Eisens, nur in umgekehrter Richtung, wett-eiferten.

Zusatz. Um sicher zu seyn, dafs in den S. 391 erwähnten Versuchen die Eisenkerne bei ihrer Magnetisirung noch nicht den Sättigungspunkt erreicht, oder gar überschritten hatten, wurde folgende Versuchsreihe gemacht. Einer der von ihrer Drahtrolle umgebenen Eisenkerne wurde horizontal, winkelrecht gegen den magnetischen Meridian gelegt, und in hinreichendem Abstände von ihm eine Magnetnadel aufgehängt, so, dafs deren Mittelpunkt in der verlängerten Axe des Kerns lag. Dann wurde ein Strom, dessen Stärke die Tangentenbussole angab, durch die Drahtrolle gesandt, und nun die Ablenkung der Magnetnadel gemessen, erstens ohne Eisenkern, also bei blofser Wirkung der Rolle, und dann mit dem Kern in der Rolle. Der Unterschied gab also die Wirkung des Eisenkerns. Folgendes waren die Resultate.

φ	$\tan \varphi$	ψ'	ψ	$\tan \psi - \tan \psi'$	$0,95 \times \tan \alpha$
12° 45'	226	2° 00'	14°	214	214
20 00	364	3 55	21 20'	322	345
30	577	6 15	33	540	548
40	839	9 40	44	796	797
50	1192	15 00	55 20	1178	1132.

φ ist der Winkel der Tangentenbussole, $\tan \varphi$ also die Stromstärke; ψ' ist die Ablenkung der Magnetnadel bei alleiniger Wirkung der Drahtrolle, ψ die Ablenkung bei Wirkung der Rolle und des Eisenkerns, $\tan \psi - \tan \psi'$ drückt also die Wirkung des im Kern erregten Magnetismus aus. Wie man sieht, war dieser Magnetismus proportional der Stromstärke, und folglich hatte der Eisenkern seinen Sättigungspunkt noch lange nicht erreicht.

VI. Ueber den Einfluss des Wassers bei chemischen Zersetzungen; von Heinrich Rose.

(Fortsetzung.)

II. Ueber das Verhalten des Wassers gegen Säuren.

Das Verhalten des Wassers gegen schwache Säuren ist in vieler Hinsicht noch auffallender und wichtiger, als das gegen schwache Basen, und es ist bemerkenswerth, daß dieses Verhalten die Aufmerksamkeit der Chemiker noch nicht in dem Grade auf sich gezogen hat, wie dasselbe es verdient.

Die Chemiker haben, durch vielfältige Erfahrung bewogen, den Satz aufgestellt, daß, wenn zwei neutrale Salze in ihren wässrigen Auflösungen einander zersetzen, die Neutralität der entstandenen Salze beibehalten wird. Mehrere ältere Chemiker, besonders Richter beschäftigten sich viel bei der Entwicklung der Lehre von der Verwandtschaft mit der gegenseitigen Zersetzung neutraler Salze, und suchten die Beibehaltung der Neutralität zu erklären. Als das Gesetz der einfachen chemischen Proportionen aufgestellt und hinreichend durch Versuche bewiesen worden war, ergab sich die Neutralität zweier sich zersetzender Salzauflösungen als eine ganz natürliche Folge des Gesetzes der bestimmten Verhältnisse, in denen sich alle Körper, also auch Säuren und Basen, mit einander verbinden.

Aber das Gesetz, daß durch Zersetzung zweier neutraler Salze nach ihrer Auflösung in Wasser wiederum zwei neutrale Salze entstehen, ist nicht richtig, wenigstens nicht in der Allgemeinheit, wie es bisher ohne den geringsten Widerspruch angenommen worden ist.

Es ist bemerkenswerth, daß die so außerordentlich vielen Ausnahmen, die bei diesem Gesetze stattfinden, nicht früher aufgefallen sind, obgleich mehrere derselben schon seit langer Zeit bekannt waren. Nur eine fast einzeln stehende Ausnahme erregte vor längerer Zeit ein allgemeines

Aufsehen. Als man fand, dafs eine Auflösung von gewöhnlichem phosphorsaurem Natron, welche für sich geröthetes Lackmuspapier bläut, mit einer Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd, welche das Lackmuspapier unverändert läfst, versetzt, einen Niederschlag von gelbem phosphorsauren Silberoxyd und eine Flüssigkeit giebt, welche gebläutes Lackmuspapier röthet, konnte diese Erscheinung nicht früher genügend erklärt werden, als bis die interessanten Untersuchungen von Clarke, und die sinnreiche Deutung derselben durch Graham bekannt wurde.

Aber vor weit längerer Zeit schon hatte man Erscheinungen beobachtet, die eben so räthselhaft waren, als der beschriebene Fall. Man hatte schon oft bemerkt, dafs aus der Auflösung eines neutralen kohlensauren Alkalis durch Zersetzung vermittelt einer Auflösung eines neutralen Salzes von Magnesia, von Zinkoxyd oder von einem andern ähnlich zusammengesetzten Metalloxyd Kohlensäuregas entwickelt werde, besonders wenn die Fällung des kohlensauren Oxyds in der Wärme geschieht, und eine grofse Reihe von Versuchen, die man besonders in neuerer Zeit angestellt hat, hat ergeben, dafs die meisten der kohlensauren unlöslichen Salze, welche man durch Zersetzungen neutraler Salzauflösungen erhält, nicht die entsprechende Zusammensetzung des kohlensauren Alkalis haben, das zu ihrer Erzeugung angewandt worden ist. Sie enthalten weniger Kohlensäure, aber obgleich die Untersuchungen oft von sehr bewährten Chemikern angestellt worden sind, so hat man ihre Zusammensetzung sehr wenig übereinstimmend gefunden.

Das Gesetz, dafs bei der Zersetzung von zwei aufgelösten neutralen Salzen die Neutralität nicht geändert wird, findet nur statt, wenn die Säuren und die Basen zu den starken gehören. Dann hat es nach allen bisherigen Erfahrungen seine Richtigkeit, auch wenn zur Auflösung der Salze sehr bedeutende Mengen von Wasser angewandt worden sind. Es ist freilich möglich, wie ich auch schon früher bemerkt habe¹⁾, dafs in äufserst verdünnten Auflö-

1) Pogg. Ann. Bd. 82, S. 548.

sungen die Erscheinungen sich modificiren können, namentlich durch das Verfahren der Diffusion, wie es Graham angewandt hat.

Gehört aber eine der Basen in den angewandten Salzen zu den schwachen, so können durch die Gegenwart des Wassers die Veränderungen entstehen, von welchen ich im vorhergehenden Abschnitte gehandelt habe. Das Wasser tritt dann als Base auf, und ist die Ursache, daß, wenn das entstehende Salz der schwachen Base als unlöslich ausgeschieden wird, der Niederschlag dann immer ein basisches Salz bildet, in welchem ein Theil der schwachen Base durch Wasser ersetzt wird, während freie Säure, mit Wasser verbunden, in der Auflösung bleibt. Diefs ist auch der Fall, wenn die beiden Säuren der beiden angewandten Salze zu den sehr starken gehören. So werden aus den Auflösungen der neutralen Salze des Chromoxyds, der Zirconerde, des Eisenoxyds, der Thonerde und selbst auch der Beryllerde, wenn diese auch mit starken Säuren verbunden sind, durch phosphorsaure und arseniksaure Alkalien unlösliche Verbindungen gefällt, welche hinsichtlich ihres Gehalts an Phosphorsäure oder an Arseniksäure nicht den alkalischen Salzen entsprechen, die zu ihrer Darstellung angewandt worden sind, sondern weniger Säure, und mehr der schwachen Basen enthalten.

Ist aber eine der Säuren in den beiden angewandten Salzen eine schwache Säure, so tritt das Wasser als Säure auf, treibt einen Theil der schwachen Säure aus und verbindet sich mit einem andern Theile der Base, welche die Säure verloren hat. Es wird dann gewöhnlich um so mehr von der schwachen Säure ausgetrieben, je mehr das Wasser als chemische Masse wirken kann, d. h. in je größerer Menge es angewandt wird, und in manchen Fällen kann durch eine sehr große Menge des Wassers die ganze Menge der Säure ausgeschieden werden, was um so leichter geschieht, wenn die Base, von der die schwache Säure getrennt wird, selbst sehr schwach ist. Bisweilen aber bildet sich durch die Verwandtschaft des entstandenen Hydrats

der Base und der Verbindung derselben mit der schwachen Säure eine Verbindung von einer gewissen Beständigkeit, welche durch vieles Wasser nicht, oder wenig zersetzt wird.

Es sind besonders die Salze der Kohlensäure, der Borsäure und der Kieselsäure, welche bei der Zersetzung vermittlest wässriger Auflösungen anderer Salze einen Theil der Säure verlieren; ich habe wenigstens die Salze dieser Säuren genauer hinsichtlich ihres Verhaltens gegen Wasser untersucht, und erlaube mir, hier die Resultate dieser Untersuchungen vorzulegen.

1. Ueber das Verhalten des Wassers gegen Kohlensäure in kohlensauren Salzen.

Die Kohlensäure bildet bekanntlich aufser mit den Alkalien, mit allen Oxyden unlösliche neutrale und basische Salze. Unter den neutralen kohlensauren Salzen werden hier die Verbindungen verstanden, in denen der Sauerstoffgehalt doppelt so groß ist, als der der Base.

Auf nassem Wege konnte man künstlich die meisten der kohlensauren Verbindungen im neutralen Zustande nicht darstellen, wenigstens nicht als wasserfreie Salze. Nur die Auflösungen der Salze der stärksten Basen geben durch Zersetzung mit den Auflösungen der neutralen kohlensauren Alkalien neutrale kohlensaure Verbindungen. Es sind besonders nur die Salze der drei alkalischen Erden, der Baryterde, der Strontianerde und der Kalkerde, so wie die des Silberoxyds, welche als neutrale Salze aus ihren Auflösungen durch kohlensaure Alkalien gefällt werden. Auch das Quecksilberoxydul kann noch als neutrale kohlensaure Verbindung niedergeschlagen werden, doch zersetzt sie sich sehr leicht; jedenfalls aber zeigt sich auch durch dieses Verhalten das Quecksilberoxydul als starke Base.

Die neutralen Salze der übrigen Oxyde werden aus ihren Auflösungen durch neutrale kohlensaure Alkalien als basische Salze gefällt; aber immer enthält der Niederschlag Wasser, welches auch durch Erhitzung bis zu 100° C. nicht fort-

fortgeht. Man hat daher diese Niederschläge als Verbindungen von neutralen kohlensauren Salzen und Oxydhydraten betrachtet, und diese Betrachtungsweise, welche von Berzelius herrührt, ist auch eine vollkommen richtige. Denn man kann diese Verbindungen gleichsam als Doppelsalze ansehen, die aus einer Base und aus zwei Säuren, der Kohlensäure und dem Wasser bestehen, welches letztere einen Theil der Kohlensäure bei der Zersetzung austreiben kann.

In der Natur kommen mehrere neutrale kohlensaure Verbindungen im wasserfreien Zustande vor. Aufser den neutralen Verbindungen der Kohlensäure mit den alkalischen Erden, finden sich die mit der Magnesia, dem Eisenoxydul, dem Zinkoxyd, dem Manganoxydul, und selbst mit dem Kobaltoxyd. Sie finden sich theils mehr oder minder rein, theils verbunden mit einander. So ist namentlich das neutrale kohlensaure Kobaltoxyd nur in kleinen Mengen mit kohlensaurer Kalkerde und Talkerde verbunden vorgekommen¹⁾ und auch das kohlensaure Manganoxgydul und selbst das kohlensaure Eisenoxydul werden immer von kleinen Quantitäten der andern neutralen kohlensauren Verbindungen begleitet.

Diese in der Natur vorkommenden Verbindungen, die kohlensaure Kalkerde ausgenommen, zeichnen sich durch eine bemerkenswerthe Indifferenz gegen andere Säuren aus. In ganzen Stücken mit Salpetersäure oder Chlorwasserstoffsäure, besonders mit concentrirter übergossen, brausen sie entweder gar nicht oder höchst wenig, und nur als Pulver oder beim Zusatz von Wasser werden sie langsam und nur durch Erwärmen schneller angegriffen. Die künstlich dargestellten Verbindungen der kohlensauren Salze mit Oxydhydraten hingegen zersetzen sich alle unter starkem Brausen durch Säuren.

Erst vor Kurzem ist es Senarmont²⁾ geglückt, auch künstlich diese neutralen kohlensaureren Verbindungen im

1) Pogg. Ann. Bd. 71, S. 564.

2) *Annales de Chimie et de Phys.* 3te Reihe Bd. 30. S. 129.

Poggendorff's Annal. Bd. LXXXIII.

wasserfreien Zustande darzustellen, und zwar durch die vereinte Wirkung des Drucks und der Wärme bei Ueber-schufs von Kohlensäure. Die von ihm dargestellten Verbindungen werden eben so, wie die in der Natur vorkommenden sehr schwer von Säuren angegriffen.

Bei der Fällung der Auflösungen der neutralen Salze der Magnesia, des Manganoxyduls, des Eisenoxyduls, des Zinkoxyds und ähnlicher Oxyde vermittelt Auflösungen von neutralen kohlensauren Alkalien wird Kohlensäure durch Wasser ausgetrieben. Man bemerkt das Entweichen derselben deutlich, besonders beim Erhitzen und wenn kein Uebermaafs des kohlensauren Alkalis angewandt worden ist, in welchem die entwickelnde Kohlensäure sich auflösen kann. Es treibt hier das Wasser die Kohlensäure aus; und im Allgemeinen kann um so mehr von dieser ausgeschieden werden, je mehr das Wasser als chemische Masse wirken kann, das heisst, je grössere Quantitäten von ihm angewandt werden. Die Menge der ausgetriebenen Kohlensäure ist gewöhnlich auch dann noch viel bedeutender, wenn bei der Fällung eine erhöhte Temperatur angewandt worden ist, welche überhaupt jede chemische Zersetzung begünstigt, und welche gewisse Doppelsalze zerstört, die aus dem kohlensauren Oxyd und kohlensauren Alkalien, die zum Theil durch die frei werdende Kohlensäure sich in zweifach kohlensaure Salze verwandeln können, bestehen. Oft hingegen bildet das entstandene Hydrat der Base mit dem kohlensauren Salze eine Verbindung in einem bestimmten Verhältniss, das der Einwirkung von mehr Wasser widersteht. Die Zusammensetzung dieses Niederschlags kann daher verschieden seyn. Die Zersetzung der kohlensauren Salze, und die Umwandlung derselben in Oxydhydrat durch die Einwirkung des Wassers schreitet gewöhnlich um so mehr fort, je länger dieselbe dauert. Daher steht oft die Quantität des noch unzersetzten kohlensauren Salzes in dem erhaltenen Niederschlage mit der des entstandenen Oxydhydrats in keinem bestimmten einfachen Verhältniss.

Um diese Wirkung des Wassers bei der Fällung der

kohlensauren Salze gut beobachten zu können, braucht man nur neutrale kohlensaure Magnesia, die man im wasserhaltigen Zustande leicht erhalten kann, mit Wasser zu kochen. Leitet man dabei das entweichende Gas in Kalkwasser, so wird dasselbe getrübt, und setzt einen reichhaltigen Absatz von kohlensaurer Kalkerde ab.

Wendet man die in der Natur vorkommende neutrale kohlensaure Magnesia (*Magnesit*) an, so entwickeln sich, wegen der größeren Verdichtung der Bestandtheile des Salzes, nur geringere Mengen von Kohlensäure, wenn man dieselbe im gepulverten Zustande mit Wasser kocht.

Aus dem neutralen kohlensauren Eisenoxydul (*Spath-eisenstein*) hingegen können gröfsere Mengen von Kohlensäure entwickelt werden, wenn es im gepulverten Zustande mit kochendem Wasser behandelt wird. Kocht man es in einer offenen Schale beim Zutritt der Luft, so bildet sich sehr bald aus dem sich ausscheidenden Eisenoxydulhydrat rothes Eisenoxydhydrat.

Nur wenn die Kohlensäure mit sehr starken Basen verbunden ist, so kann Wasser einen Theil derselben auch durch längeres Kochen nicht austreiben. Von dieser Art sind besonders diejenigen kohlensauren Salze, von welchen die Kohlensäure entweder gar nicht oder erst bei sehr hohen Temperaturen verjagt wird. Von den unlöslichen kohlensauren Salzen gehören nur die Verbindungen der Kohlensäure mit den drei alkalischen Erden hierher, doch ist hierbei zu bemerken, dafs wenn kohlensaure Kalkerde aus einer sehr verdünnten Auflösung eines neutralen Kalkerdesalzes durch kohlensaures Natron gefällt und das Ganze längere Zeit gekocht worden ist, die erhaltene kohlensaure Kalkerde, sie mag bei 70° C. oder unter der Luftpumpe über Schwefelsäure getrocknet worden seyn, immer etwas Wasser, doch nicht über 1 Proc. enthält.

Weit bedeutender sind die Mengen der ausgetriebenen Kohlensäure, wenn die neutralen Salze anderer Oxyde durch kohlensaure Alkalien gefällt werden. Sehr viele dieser Verbindungen sind untersucht worden, aber die Resultate

tate dieser Untersuchungen stimmen, und zwar aus den oben angeführten Gründen, nicht, oder nur in seltenen Fällen überein.

Je schwächer die Base in dem Salze ist, das durch die Auflösung des kohlensauren Alkalis zersetzt wird, desto mehr wird dieselbe blofs als Hydrat gefällt, und die Kohlensäure entweicht dann grösstentheils und bisweilen vollständig. So fallen aus den Auflösungen der Thonerde und des Eisenoxyds durch kohlensaure Alkalien jene Basen fast nur als Hydrate, und die Kohlensäure wird fast vollständig ausgetrieben. Der Grund dieses Verhaltens ist wohl der, dafs jene schwachen Basen eine grofse Verwandtschaft zum Wasser, und fast gar keine zur Kohlensäure haben. Wir wissen mit welcher Hartnäckigkeit das Wasser im Diaspor bei erhöhten Temperaturen zurückgehalten wird. Jene schwachen Basen treten bekanntlich in vielen Fällen als schwache Säuren auf, und als solche können sie sich nicht mit der Kohlensäure, wohl aber mit dem Wasser verbinden, das wenn es mit der Thonerde oder dem Eisenoxyd verbunden ist, in diesen Verbindungen dann unstreitig die Rolle einer Base spielt.

Eine merkwürdige Ausnahme hiervon machen, wie wir später sehen werden, die Fällungen, die aus Cadmiumoxydauflösungen durch kohlensaure Alkalien entstehen. Obgleich das Cadmiumoxyd zu den schwachen Basen gerechnet werden mufs, so enthalten doch jene Niederschläge äufserst wenig Wasser, und so viel Kohlensäure, dafs sie in Verbindung mit dem Cadmiumoxyd ein beinahe neutrales Salz bildet.

Im Folgenden werden die Resultate vieler Versuche mitgetheilt, welche mit den Niederschlägen angestellt worden sind, welche aus neutralen Auflösungen der Salze vieler Oxyde mittelst kohlensaurer Alkalien erhalten worden sind. Sie sind besonders in der Absicht unternommen worden, um die Ursachen der Verschiedenheit in der Zusammensetzung zu ermitteln. Die Analysen sind alle von Hrn. Weber angestellt worden.

I. Ueber die Verbindungen der Kohlensäure und des Wassers mit der Magnesia.

Diese Verbindungen haben besonders die Aufmerksamkeit der Chemiker auf sich gezogen, und sind vielfältig untersucht worden. Die Resultate der verschiedenen Untersuchungen stimmen zwar nicht sehr überein; es geht indessen aus ihnen hervor, daß von allen durch Fällung erzeugten Verbindungen der Kohlensäure mit der Magnesia diejenige am häufigsten erhalten wurde, in welcher 5 Atome Magnesia mit 4 Atome Kohlensäure verbunden sind. Durch die zu beschreibenden Versuche wird dieß zwar im Ganzen bestätigt, es ergiebt sich aber aus ihnen, daß vorzüglich nur den durch kohlensaures Natron bewirkten Niederschlägen diese Zusammensetzung zukommt, während die durch kohlensaures Kali erhaltenen oft ein anderes Verhältniß zwischen Magnesia und Kohlensäure zeigen.

Zur Darstellung der Niederschläge wurde kein anderes Magnesiasalz als schwefelsaure Magnesia angewandt, und die Auflösung eines Atoms derselben mit der eines Atoms des kohlensauren Alkalis vermischt. Die Auflösungen wurden theils concentrirt, und theils verdünnt, theils kalt und warm angewandt.

Bei den Berechnungen wurde das Atomgewicht des Magnesiums nach Svanberg zu 154,504 angenommen, weil dessen Bestimmung die neueste ist und er auf Scheerer's Versuche Rücksicht genommen hat.

Fällungen mittelst des kohlensauren Natrons.

Bei der Fällung der Magnesia mittelst des kohlensauren Natrons hat besonders Mosander darauf aufmerksam gemacht, daß der Niederschlag oft kohlensaures Natron enthält, von welchem er durch Auswaschen mit Wasser nicht füglich befreit werden kann. Allerdings ist dieß der Fall, aber die Möglichkeit der Verunreinigung der kohlensauren Magnesia durch Natron ist übertrieben worden. Der Natrongehalt läßt sich durch längeres Auswaschen vollständig entfernen. Bei großen Mengen ist dieß aller-

dings schwer, und deshalb wendet man in Fabriken zur Fällung der Magnesia alba, einen, wiewohl kleinen Ueberschufs des Magnesiasalzes an, weshalb dieselbe dagegen gewöhnlich Spuren von Schwefelsäure oder von Chlor enthält.

I. Krystallisirte schwefelsaure Magnesia und krystallisiertes kohlen saures Natron, von beiden gleiche Atome wurden in der dreifachen Menge von kaltem Wasser gelöst, und die Lösungen kalt unter gutem Umrühren vermischt. Bei der Zersetzung konnte keine Entwicklung von Kohlensäure wahrgenommen werden; der Niederschlag, welcher sehr voluminös war, wurde mit kaltem Wasser ausgewaschen. Die abfiltrirte Flüssigkeit enthielt noch eine große Menge von Magnesia, und während des Auswaschens löste sich eine bedeutende Menge des Niederschlags auf, wodurch das Volumen desselben sich bedeutend verminderte. Chlorbaryum brachte im letzten Waschwasser eine starke Fällung hervor, welche sich aber in Chlorwasserstoffsäure löste, und in der Auflösung durch Ammoniak nicht wieder hervorgebracht werden konnte. In der abgeschiedenen Flüssigkeit setzten sich büschelförmige Krystalle ab.

Die Analyse dieser, so wie aller Niederschläge, die durch Fällung des Magnesiasalzes durch kohlen saure Alkalien erhalten wurden, geschah auf die Weise, dafs in einem Theile durchs Glühen die Menge der Magnesia und die gemeinschaftliche Menge der Kohlensäure und des Wassers, und in einem andern die Menge der Kohlensäure durch Auflösung des Niederschlags in einer nur etwas verdünnten Schwefelsäure in einem dazu geeigneten Apparate bestimmt wurde.

Ein Theil des Niederschlags wurde, nachdem er bei der gewöhnlichen Temperatur getrocknet worden war, zur Analyse angewendet.

Ein anderer Theil wurde vorher erst bei 60° C. getrocknet.

Eine dritte Menge war bei 100° C. getrocknet worden.
Die Resultate der Analysen waren folgende:

1. Lufttrocken				
		Sauerstoff- gehalt.	Atome.	Berechnete Zu- sammensetzung.
Magnesia	34,84	13,68	5	34,18
Kohlensäure	29,72	21,61	4	29,56
Wasser	35,44	31,50	12	36,26
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>
2. Bei 60° getrocknet.				
Magnesia	38,60	15,16	5	37,59
Kohlensäure	32,60	23,44	4	32,51
Wasser	28,80	25,60	9	29,90
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>
3. Bei 100° getrocknet.				
Magnesia	41,93	16,47	5	43,35
Kohlensäure	37,27	27,10	4	37,49
Wasser	20,80	18,48	5	19,16
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Die Niederschläge waren frei von Natron; denn als ein Theil der Fällung in Chlorwasserstoffsäure aufgelöst, die Auflösung mit Ammoniak übersättigt, dann mit phosphorsaurem Natron gefällt und der erhaltene Niederschlag geglüht worden war, wurde eine Menge von phosphorsaurer Magnesia erhalten, die gerade eben so viel Magnesia enthielt, als man durch Glühen aus dem kohlensauren Salze bekommen hatte.

In den untersuchten Niederschlägen sind 5 Atome Magnesia und 4 Atome Kohlensäure enthalten. Es ist schon oben angeführt worden, daß dieses Verhältniß aus den früheren Analysen sich am häufigsten ergeben hat. Die Niederschläge bestehen daher aus 4 Atomen neutraler kohlensaurer Magnesia mit einem Atom Magnesiahydrat. Die bei verschiedenen Temperaturen getrockneten Fällungen unterscheiden sich besonders nur durch verschiedene Mengen von Wasser. Wie die eigentliche Zusammensetzung des

Magnesiahhydrats, welches in diesen Verbindungen enthalten ist, sey, geht aber hieraus nicht hervor. Die bei 100° C. getrocknete Verbindung hat die Zusammensetzung $4\text{Mg}\ddot{\text{C}} + \text{Mg}\ddot{\text{H}}^5$. Es ist dieß dieselbe, wie sie auch Berzelius und Fritzsche¹⁾ gefunden haben. Wir wissen aber nicht, wie viel von dem Wasser als Krystallwasser enthalten ist. Nehmen wir in den Verbindungen ein Magnesiahydrat an, wie es in der Natur vorkommt, so müßte die Zusammensetzung durch die Formel $4\text{Mg}\ddot{\text{C}} + \text{Mg}\ddot{\text{H}} + 4\text{H}$ ausgedrückt werden. Einen geringeren Wassergehalt hat kein bei 100° C. getrockneter Niederschlag gezeigt.

Betrachten wir aber das Verhältniß der Magnesia zur Kohlensäure in den bei verschiedenen Temperaturen getrockneten Niederschlägen genauer, so finden wir, daß dieses Verhältniß nicht ganz dasselbe ist, und zwar sind die Unterschiede von der Art, daß sie nicht durch Beobachtungsfehler entstehen können, besonders da die Analysen mit Genauigkeit ausgeführt worden sind. In den Niederschlägen, die bei der Lufttemperatur und bei 60° getrocknet worden waren, ist etwas Kohlensäure weniger, in dem bei 100° C. getrockneten hingegen ist etwas mehr Kohlensäure enthalten, als dem oben angeführten Verhältniß der Magnesia zur Kohlensäure entspricht. Nach jenem Verhältnisse müßte der Sauerstoffgehalt der Magnesia zu dem der Kohlensäure sich wie 1:1,6 verhalten. In dem lufttrocknen Niederschlag ist dasselbe wie 1:1,58; in dem bei 60° getrockneten wie 1:1,55; in dem bei 100° getrockneten aber wie 1:65.

Wir werden aus den weiter unten anzuführenden Versuchen ersehen, daß, was auffallend erscheinen muß, das Magnesiahydrat in der That, wenn es einer Temperatur von 100° C. ausgesetzt wird, langsam etwas Kohlensäure aus der Luft anziehen kann.

II. Es wurden wiederum gleiche Atome von krystallisirter schwefelsaurer Magnesia und krystallisirtem kohlensauren

1) Pogg. Ann. Bd. 39., S. 309.

Natron in der dreifachen Menge aber heißen Wassers aufgelöst. Bei der Vermischung der kochenden Auflösungen fand noch keine sichtliche Kohlensäureentwicklung statt, welche erst, und zwar im reichlichen Maasse erfolgte, als das Ganze längere Zeit erhitzt wurde. Das Erhitzen wurde so lange fortgesetzt, bis noch eine Entwicklung von Kohlensäure bemerkt werden konnte. Der Niederschlag, der von dichter Beschaffenheit war, wurde mit heißem Wasser ausgesüßt. Die filtrirte Flüssigkeit enthielt nur eine Spur von Magnesia.

Der Niederschlag wurde ebenfalls bei verschiedenen Temperaturen getrocknet, und auf die oben angeführte Weise der Untersuchung unterworfen.

1. Lufttrocken.

		Sauerstoff- gehalt.	Atome.	Berechnete Zu- sammensetzung.
Magnesia	40,96	16,10	5	40,26
Kohlensäure	33,92	24,66	4	34,82
Wasser	25,12	22,32	7	24,92
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

2. Bei 60° C. getrocknet.

Magnesia	42,13	16,55	5	41,75
Kohlensäure	35,68	25,93	4	36,10
Wasser	22,19	19,72	6	22,15
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

3. Bei 100° C. getrocknet.

Magnesia	42,79	16,81	5	43,35
Kohlensäure	36,38	26,44	4	37,49
Wasser	20,83	18,51	5	19,16
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Auch diese Niederschläge erwiesen sich als frei von Natron.

Die heiß gefällte Verbindung der Magnesia unterscheidet sich nach diesen Untersuchungen, was das Verhältniß der Magnesia zur Kohlensäure betrifft, gar nicht von der kalt gefällten, wenn zur Zersetzung die Salze in glei-

chen Mengen Wasser aufgelöst worden waren. Dieses Resultat ist auffallend; ich hatte erwartet, daß durchs Erhitzen das Wasser noch mehr Kohlensäure austreiben würde, als dies der Fall ist, wenn die Verbindung kalt gefällt wird.

Die heifs gefällte Verbindung enthält jedoch weniger Wasser, als die kalt gefällte, sind aber beide bei 100° getrocknet worden, so ist ihre Zusammensetzung gleich. Dann ist dieselbe $4\text{Mg}\ddot{\text{C}} + \text{Mg}\text{H}^5$, die, wie schon oben bemerkt wurde, von andern Chemikern am häufigsten erhalten worden war.

Bei der heifs gefällten Verbindung bleibt, wenn sie verschiedenen Temperaturen ausgesetzt worden ist, das Verhältniß der Magnesia zur Kohlensäure mehr unverändert, als bei der kalt gefällten. Ein kleiner Unterschied findet zwar auch hier statt, und die bei 100° C. getrocknete Fällung enthält auch etwas Kohlensäure mehr, als die lufttrockne, aber der Unterschied ist unbedeutend. Die heifs gefällte Verbindung ist von dichterem Beschaffenheit, und es ist wahrscheinlich, daß sie dann weniger Kohlensäure bei erhöhter Temperatur anziehen kann, als wenn sie von einem mehr lockeren Zustande ist. Uebrigens enthält die Verbindung bei allen Temperaturen, denen sie ausgesetzt worden war, in den verschiedenen Untersuchungen etwas, obgleich nicht viel Kohlensäure weniger, als die kalt gefällte.

III. Da bei der vorhergehenden Reihe von Untersuchungen, als heisse Auflösungen der beiden sich zersetzenden Salze nach der Vermischung längere Zeit gekocht worden waren, die Kohlensäureentwicklung erst bemerkt werden konnte, als das Kochen des Ganzen anfang, so wurde der Versuch II mit der Modification wiederholt, daß die Lösungen der beiden Salze (jedes wurde, wie bei den früheren Versuchsreihen, in drei Theilen Wasser gelöst) jede besonders, bis zum Kochen erhitzt, dann vermischt, aber das Ganze nicht weiter gekocht wurde. Es war hierbei keine Kohlensäureentwicklung zu bemerken. Der Niederschlag wurde sogleich filtrirt, und mit warmen nicht ko-

chendem Wasser ausgewaschen. Die filtrirte Flüssigkeit enthielt noch sehr viel Magnesia. Beim Auswaschen löste sich viel von der Fällung auf, und das anfangs sehr große Volumen derselben verminderte sich sehr bedeutend. Nachdem die Schwefelsäure vollständig ausgewaschen worden war, gab das Waschwasser mit Chlorbaryum einen starken Niederschlag, der sich in Chlorwasserstoffsäure auflöste, und durch Ammoniak nicht wieder erhalten werden konnte. Die Zusammensetzung dieses Niederschlags war:

1. Lufttrocken.

		Sauerstoff- gehalt.	Atome.	Berechnete Zu- sammensetzung.
Magnesia	38,72	15,21	5	38,88
Kohlensäure	33,46	24,32	4	33,62
Wasser	27,82	24,72	8	27,50
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

2. Bei 60° C. getrocknet.

Magnesia	40,90	16,07	5	41,75
Kohlensäure	35,82	26,03	4	36,10
Wasser	23,38	20,78	6	22,15
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

3. Bei 100° C. getrocknet.

Magnesia	42,38	16,55	5	43,35
Kohlensäure	37,80	27,48	4	37,49
Wasser	19,82	17,61	5	19,16
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Auch bei der Untersuchung dieser Verbindung zeigte sich dieselbe frei von Natron.

Die Verbindung, bei verschiedenen Temperaturen getrocknet, unterscheidet sich von der der Versuchsreihe II nur durch einen verschiedenen Wassergehalt im lufttrocknen Zustande. Ist die Verbindung bei 60° und bei 100° C. getrocknet worden, so zeigt sie eine ähnliche Zusammensetzung wie die der vorigen Versuchsreihe.

Man sieht indessen, daß die Resultate der Analysen

besser mit den berechneten Resultaten übereinstimmen. Das Verhältniß der Magnesia zur Kohlensäure von 5 Atomen der ersteren zu 4 Atomen der letztern ist noch genauer, so daß es einleuchtend wird, daß, hätte man das Kochen bei der Versuchsreihe II sehr lange fortgesetzt, mehr Kohlensäure durch Wasser ausgetrieben worden wäre.

Uebrigens zeigt sich bei dieser Verbindung die Erscheinung deutlich, daß die Menge der Kohlensäure im Verhältniß zur Magnesia um so mehr zunimmt, je mehr sie getrocknet worden ist. In der lufttrocknen Verbindung ist das Verhältniß des Sauerstoffs der Magnesia zu der der Kohlensäure wie 1 : 1,599, also fast genau so, wie es nach der berechneten Zusammensetzung seyn müßte. Bei der bei 60° getrockneten ist dieses Verhältniß wie 1 : 1,62, und bei der bei 100° getrockneten wie 1 : 1,65.

IV. Es wurde die Versuchsreihe I wiederholt, aber mit weit verdünnteren Salzaufösungen. Es wurden wiederum gleiche Atome von schwefelsaurer Magnesia und von kohlensaurem Natron kalt mit einander gemischt, aber jedes der Salze war in 33 Theilen Wasser aufgelöst worden. Beim Vermischen dieser verdünnten Auflösungen konnte natürlich keine Entwicklung von Kohlensäure wahrgenommen werden. Der Niederschlag wurde mit kaltem Wasser so lange ausgesüßt, bis im Waschwasser keine Schwefelsäure mehr entdeckt werden konnte, was bald erreicht wurde. Beim Auswaschen löste sich viel des Niederschlags auf, und die filtrirte Flüssigkeit enthielt viel Magnesia.

Bei der Untersuchung zeigte es sich, daß die Verbindung natronhaltig war. Wurde die durchs Glühen erhaltene Magnesia aufgelöst, und als phosphorsaure Ammoniak-Magnesia gefällt, so enthielt die geglühte phosphorsaure Magnesia weniger an Magnesia, als der Rückstand vom geglühten kohlensauren Salze betrug. Die Differenz war kohlensaures Natron. Wäre das Auswaschen länger fortgesetzt worden, so hätte das Natron wohl durch Auswaschen entfernt werden können.

Die Verbindung wurde lufttrocken untersucht. Sie enthielt

		Sauerstoffgehalt.
Magnesia	36,95	14,52
Natron	1,58	0,40
Kohlensäure	33,36	24,26
Wasser	28,11	25,00
	<u>100,00.</u>	

Nimmt man an, dafs das Natron als einfach kohlensaures Salz in der Verbindung enthalten war, so ist das Verhältnifs des Magnesia zur Kohlensäure, wie das in allen untersuchten Verbindungen; es sind nämlich 5 Atome Magnesia gegen 4 Atome Kohlensäure vorhanden. Die Menge des Wassers beträgt dann 8 bis 9 Atome.

Nimmt man hingegen an, dafs das Natron als zweifach-kohlensaures Salz in der Verbindung enthalten war, so ist etwas, doch nicht viel weniger Kohlensäure darin enthalten, so dafs doch noch dasselbe Verhältnifs zwischen Magnesia und Kohlensäure angenommen werden kann.

Es mufs übrigens hierbei bemerkt werden, dafs beim Auflösen der geglühten Verbindung mit einer Säure kein deutliches Brausen bemerkt werden konnte.

Fällungen vermittelt kohlensauren Kali's.

Es wurden ähnliche Reihen von Versuchen mit den Niederschlägen angestellt, welche durch Fällung der schwefelsauren Magnesia vermittelt kohlensauren Kalis erhalten wurden.

I. Gleiche Atome von schwefelsaurer Magnesia und von kohlensaurem Kali wurden in Auflösungen kalt mit einander gemischt. Ersteres Salz war in 6 Theilen Wasser, letzteres in möglichst wenigem Wasser aufgelöst worden. Die vom Niederschlag getrennte Flüssigkeit enthielt viel Magnesia; er wurde mit kaltem Wasser ausgewaschen, worin er sich zum Theil löste.

Der Niederschlag wurde wie die früheren, bei verschiedenen Temperaturen getrocknet, der Untersuchung unterworfen.

1. Lufttrocken.

		Sauerstoff- gehalt.	Atome.	Berechnete Zu- sammensetzung.
Magnesia	35,16	13,85	5	35,25
Kohlensäure	30,63	22,26	4	30,50
Wasser	34,21	30,40	11	34,25
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

2. Bei 60° C. getrocknet.

Magnesia	35,23	13,84	5	35,45
Kohlensäure	31,08	22,59	4	31,91
Wasser	33,69	30,00	10	32,64
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

3. Bei 100° getrockneten.

Magnesia	42,08	16,53	5	41,75
Kohlensäure	35,48	25,79	4	36,10
Wasser	22,44	20,04	6	22,15
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Die Niederschläge, welche in kalten concentrirten Auflösungen des Magnesiasalzes durch kohlensaures Kali hervorgerufen worden, unterscheiden sich wenig von denen, die unter gleichen Umständen durch kohlensauren Natron erzeugt werden. In allen sind 5 Atome Magnesia gegen 4 Atome Kohlensäure. In dem bei 100° C. getrockneten Niederschlag ist keine größere Menge von Kohlensäure.

II. Es wurden dieselben Verhältnisse der Salze und des Wassers wie bei I, aber die Auflösungen kochend angewandt und das Ganze gekocht. Erst nach dem Kochen fand eine Kohlensäureentwicklung statt; mit dem Kochen wurde so lange fortgefahren, bis dieselbe noch bemerkt werden konnte. Der dichte Niederschlag wurde mit heissem Wasser ausgewaschen. Die filtrirte Flüssigkeit enthielt nur geringe Mengen von Magnesia.

Der bei verschiedenen Temperaturen getrocknete Niederschlag zeigte folgende Zusammensetzung:

1. Lufttrocken.

		Sauerstoff- gehalt.	Atome.	Berechnete Zu- sammensetzung.
Magnesia	40,20	15,79	4	40,42
Kohlensäure	32,45	23,58	3	32,77
Wasser	27,35	24,33	6	26,81
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

2. Bei 60° C. getrocknet.

Magnesia	42,03	16,51	4	42,31
Kohlensäure	34,93	25,39	3	34,30
Wasser	23,04	20,48	5	23,39
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

3. Bei 100° C. getrocknet.

Magnesia	42,71	16,78	5	41,75
Kohlensäure	36,17	26,49	4	36,10
Wasser	21,12	18,77	6	22,15
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Bei diesen Verbindungen zeigt sich ein anderes Verhältniß zwischen Magnesia und Kohlensäure, nämlich das von 4 At. Magnesia gegen 3 At. Kohlensäure. Durchs Erhitzen der Flüssigkeiten ist also unter sonst gleichen Verhältnissen mehr Kohlensäure verjagt worden, als in der Kälte. Aber in dem bei 100° C. getrockneten Niederschlage zeigt sich ein größerer Kohlensäuregehalt, und es ist bei dieser Temperatur Kohlensäure aus der Luft absorbiert worden, so daß in diesem Niederschlage das alte Verhältniß zwischen Kohlensäure und Magnesia wieder hergestellt worden ist.

III. Gleiche Atomgewichte der beiden Salze in 60 Theilen Wasser aufgelöst, wurden kalt mit einander vermischt. Der entstehende Niederschlag war nur sehr gering, und er verminderte sich durch Auswaschen mit kaltem Wasser noch bedeutend. Von 30 Grm. schwefelsaurer Magnesia wurden nur 0,600 Grm. der ausgewaschenen Fällung erhalten, die nur zu einer Analyse hinreichte. Bei 60° getrocknet zeigte sich folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoff.
Magnesia	40,64	15,96
Kohlensäure	31,30	22,75
Wasser	28,06	24,94
	<u>100,00.</u>	

Der geringe Gehalt der Kohlensäure gegen den der Magnesia ist auffallend. Wegen der kleinen Menge des erhaltenen Niederschlags konnte die Analyse nicht wiederholt werden. Es sind ungefähr gegen 6 Atome Magnesia, 4 Atome Kohlensäure und 6 Atome Wasser in der Verbindung enthalten. Die berechnete Zusammensetzung wäre:

Magnesia	41,95
Kohlensäure	30,23
Wasser	27,82
	<u>100,00.</u>

IV. Die beiden Salze in demselben Verhältnisse wie bei der Versuchsreihe III., wurden in derselben Menge Wasser aufgelöst, aber die Auflösungen kochend gemischt. Die Kohlensäureentwicklung fing erst an, nachdem das Kochen einige Zeit hindurch gedauert hatte; dasselbe wurde so lange fortgesetzt, bis noch eine Gasentwicklung zu bemerken war. Der erhaltene Niederschlag, der von dichter Beschaffenheit war, wurde mit heissem Wasser ausgewaschen; die filtrirte Flüssigkeit enthielt nur Spuren von Magnesia.

Die Zusammensetzung der Verbindung bei verschiedenen Temperaturen getrocknet war folgende:

1. Lufttrocken.			
		Sauerstoff- gehalt.	Atome.
Magnesia	39,40	15,48	4
Kohlensäure	30,83	22,41	3
Wasser	29,77	26,46	7
	<u>100,00.</u>		

Berechnete Zu- sammensetzung.
38,69
31,41
29,90
<u>100,00.</u>

2. Bei

2. Bei 60° C. getrocknet.

		Sauerstoff- gehalt.	Atome.	Berechnete Zu- sammensetzung.
Magnesia	41,59	16,34	4	42,31
Kohlensäure	34,93	25,40	3	34,30
Wasser	23,48	20,87	5	23,39
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

3. Bei 100° C. getrocknet.

Magnesia	42,64	16,75	5	41,75
Kohlensäure	35,32	25,67	4	36,10
Wasser	22,04	19,59	6	22,15
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Die Verbindung hat fast dieselbe Zusammensetzung, wie die der Versuchsreihe II. Auch hier finden wir in dem bei 100° C. getrockneten Niederschlag eine gröfsere Menge von Kohlensäure.

Die Resultate der eben beschriebenen Versuche stimmen im Ganzen mit denen überein, die schon früher von Berzelius und Fritzsche erhalten worden waren; es zeigen sich indessen auch mehrere Abweichungen.

Die Verbindungen, die 5 At. Magnesia gegen 4 At. Kohlensäure enthalten, wurden durch die Fällung des Magnesia-salzes mittelst kohlensauren Natrons erhalten, sowohl wenn die Fällung kalt oder heifs geschah, und alle Niederschläge waren, nachdem sie bei 100° C. getrocknet worden waren, gleich zusammengesetzt. Diese heifs gefällten Niederschläge sind von dichter Beschaffenheit als die kalt gefällten. Dafs sie eine gleiche Zusammensetzung zeigen, war nicht nur gegen meine eigene Erwartung, sondern auch gegen die Ansicht, die man bisjetzt hatte. Nach Berzelius besteht der in der Kälte erzeugte Niederschlag aus 5 Atomen Magnesia und 4 Atomen Kohlensäure, geschieht aber die Fällung siedend, oder wird der in der Kälte erhaltene Niederschlag längere Zeit gekocht, so entsteht eine Verbindung von 4 Atomen Magnesia mit 3 Atomen Kohlensäure. Nach den beschriebenen Versuchen ist diefs nur

der Fall, wenn die Fällung des Magnesiasalzes mittelst kohlensauren Kalis bewirkt wird, nicht aber wenn kohlensaures Natron angewendet wird.

Wird daher ein neutrales Magnesiasalz in der Kälte durch die Auflösung von einem gleichen Atom von kohlensaurem Alkali in der Kälte gefällt, so wird ein Theil der Kohlensäure durch Wasser ausgetrieben, während ein basisches Salz der Magnesia, oder vielmehr kohlensaure Magnesia mit Magnesiahydrat sich abscheidet. Aber selbst wenn concentrirte Auflösungen angewendet werden, bemerkt man keine Kohlensäureentwicklung; die frei werdende Kohlensäure verbindet sich daher, wenn kein überschüssiges Alkali vorhanden war, mit kohlensaurer Magnesia zu einem auflöslichen zweifach-kohlensaurem Salze. Nach mehreren Tagen änderte sich das Ganze wie dies schon Fritzsche ¹⁾ gezeigt hat, in Krystalle von wasserhaltiger neutraler kohlensaurer Magnesia um. Durchs Erhitzen wird das zweifach-kohlensaure Salz zersetzt, Wasser treibt aus demselben Kohlensäure aus, deren Entweichen deutlich bemerkt werden kann, und es fällt dieselbe basische Magnesia nieder, die auch in der Kälte sich ausgeschieden hat.

Wenn verdünnte Auflösungen der beiden Salze in der Kälte mit einander vermischt werden, so findet die Bildung der auflöslichen zweifach-kohlensauren Magnesia in einem weit höheren Grade statt, und die Menge des gefällten Salzes ist, auch wenn sehr bedeutende Quantitäten der sich zersetzenden Salze angewendet worden sind, sehr gering.

Bei Anwendung von kohlensaurem Natron sind die Zersetzungsproducte, die durchs Erhitzen sich ungelöst ausscheiden, denen gleich, welche in der Kälte sich gefällt haben; bei Anwendung von kohlensaurem Kali wird dann aber mehr Kohlensäure ausgetrieben, und eine Fällung erhalten, die weniger Kohlensäure enthält.

Fritzsche ist es gelungen, bei Anwendung von einem Ueberschuss von kohlensaurem Natron, und durch lange

1) Pogg. Ann. Bd. 37, S. 314.

anhaltendes Sieden noch mehr Kohlensäure zu vertreiben, und eine Verbindung zu erhalten, die gegen 3 Atome Magnesia nur 2 Atome Kohlensäure enthält, was Berzelius indessen bezweifelt, indem er in dem Niederschlage einen Natrongehalt vermuthet, durch welchen der Magnesiagehalt scheinbar sich vermehrte. Fritzsche giebt indessen in seiner Abhandlung an, dafs nach dem Glühen in der Verbindung durch Chlorwasserstoffsäure kein Rückhalt von Kohlensäure in derselben zu entdecken war.

Was nun den Wassergehalt der erhaltenen Niederschläge betrifft, so ist schon oben bemerkt worden, dafs wenn in der Verbindung 5 Atome Magnesia mit 4 Atomen Kohlensäure verbunden sind, sie wenigstens noch 5 Atome Wasser enthält. Von dieser Zusammensetzung sind die Niederschläge, wenn sie bei 100° C. getrocknet worden sind. Nur wenn dieselbe Verbindung durch kohlen-saures Kali gefällt worden war, enthielt sie sonderbarer Weise etwas Wasser mehr, sie hatte sich dann, wenn sie kochend gefällt wurde, erst durch Anziehung von Kohlensäure aus der Verbindung $4\text{Mg}+3\text{C}$ gebildet. War die Zusammensetzung von $5\text{Mg}+4\text{C}$ bei 60° C. getrocknet worden, so enthielt sie, wenn sie heifs niedergeschlagen worden war, 6 Atome Wasser; war sie aber in der Kälte gefällt worden, 9 Atome Wasser. Dieser Unterschied rührt offenbar daher, dafs die kalt gefällte Verbindung von voluminöser, die heifs gefällte aber, von dichter Beschaffenheit ist. Die an der Luft getrockneten Fällungen enthalten aus demselben Grunde auch verschiedene Mengen von Wasser, die voluminöse, kalt niedergeschlagene hat 12 Atome, die dichteren heifs gefällten nur 7 oder 8 Atome.

Die geringste Menge von Wasser, welches in der Verbindung $4\text{Mg}+3\text{C}$ enthalten war, war ebenfalls 5 Atome Wasser; Berzelius hat sie mit 4 Atomen Wasser erhalten.

Die oben gegebenen Resultate der Analysen stimmen oft mit den berechneten Zusammensetzungen nicht voll-

kommen überein, was offenbar davon herrühren kann, daß bei der Fällung die Verbindungen nicht rein, sondern mit einer geringen Quantität einer anderen gemengt erhalten wurden.

Denn es giebt offenbar noch mehr Verbindungen von kohlensaurer Magnesia mit Magnesiahydrat außer den beiden beschriebenen. Es wurde eine käufliche kohlensaure Magnesia von sehr leichter Beschaffenheit untersucht, nachdem sie bei 100° C. getrocknet worden war. Die Zusammensetzung war folgende:

Magnesia	42,56
Kohlensäure	33,00
Wasser	24,44
	<hr/> 100,00.

Es war also im Verhältniß zur Magnesia weniger Kohlensäure in der Verbindung enthalten, als in den oben angeführten. Die Fabrik, in welcher die untersuchte kohlensaure Magnesia dargestellt wurde, und die Methode ihrer Bereitung konnten nicht ausgemittelt werden. Als aber eine größere Menge derselben nach dem Glühen mit Wasser behandelt wurde, konnte eine höchst geringe Menge von Kali, mit Magnesia verunreinigt, ausgezogen werden. Die Auflösung dieser kohlensauren Magnesia in Salpetersäure zeigte sich ganz frei von Schwefelsäure, gab aber mit salpetersaurem Silberoxyd einen sehr geringen Niederschlag. Es war die kohlensaure Magnesia wahrscheinlich aus einer Auflösung von Chlormagnesium durch kohlensaures Kali gefällt worden, und sie enthielt daher eine geringe Menge von Chlorkalium. Es wurde deshalb die gefällte Magnesia in phosphorsaure Ammoniak-Magnesia verwandelt, und nach dem Glühen derselben die Menge der darin enthaltenen Magnesia bestimmt, sie betrug etwas weniger als die zur Untersuchung angewandte Menge. Nimmt man den Unterschied für Chlorkalium an, das nicht zur Zusammensetzung gehört, und das nur durch ein unvollständiges Auswaschen zurückgeblieben war, so war die

Zusammensetzung der käuflichen kohlensauren Magnesia folgende:

		Sauerstoff.
Magnesia	41,82	16,43
Kohlensäure	33,33	24,23
Wasser	24,85	22,10
	<u>100,00.</u>	

Dies entspricht am besten einer Verbindung von 7 Atomen Magnesia mit 5 Atomen Kohlensäure und 9 Atomen Wasser. Die berechnete Zusammensetzung einer solchen ist:

Magnesia	42,73
Kohlensäure	33,00
Wasser	24,27
	<u>100,00.</u>

Die große Menge des Magnesiahydrats gegen kohlensaure Magnesia in dieser Verbindung ist auffallend. Es wird oft bei Bereitung der käuflichen kohlensauren Magnesia in Fabriken die Fällung mit Wasser angerührt einige Zeit einer erhöhten Temperatur, die aber nicht die des Kochpunkts des Wassers erreichen darf, ausgesetzt. Wahrscheinlich wird auf diese Weise mehr Kohlensäure aus der Verbindung durch Wasser ausgetrieben.

So schwache Säuren überhaupt, wie die Kohlensäure und das Wasser, wenn dieses als Säure auftritt, können je nach der chemischen Masse, mit welcher sie wirken können, sich gegenseitig austreiben. Ich habe schon oben angeführt, daß die bei 100° C. getrockneten Niederschläge der kohlensauren Magnesia etwas mehr Kohlensäure enthalten, als die lufttrocknen, und die bei 60° getrockneten. Hierbei wurde durch die Kohlensäure der Luft etwas Wasser verjagt. Wenn man indessen die Hitze von 100° C. sehr lange fortsetzt, so wird neben Wasser auch etwas Kohlensäure verflüchtigt, und die lange erhitzte Verbindung ist reicher an Magnesia und ärmer an Kohlensäure und an Wasser.

Die käufliche kohlensaure Magnesia, deren Zusammen-

setzung so eben angeführt worden, wurde vier Tage hinter einander einer Hitze von 100° C. ausgesetzt. Sie hatte alsdann folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoffgehalt.
Magnesia	45,48	17,86
Kohlensäure	32,97	23,96
Wasser	21,55	19,15
	100,00.	

Dieselbe käufliche kohlensaure Magnesia wurde mit Wasser befeuchtet, und mehrere Stunden in einer Atmosphäre von Kohlensäuregas einer Temperatur von 100° C. ausgesetzt. Nachdem die Verbindung trocken geworden war, wurde das Befeuchten und Erhitzen im Kohlensäuregas noch einmal wiederholt. Darauf wurde sie bei 100° C. getrocknet, bis sie nicht mehr an Gewicht verlor. Die Verbindung hatte dann folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoffgehalt.
Magnesia	45,65	17,93
Kohlensäure	35,82	26,04
Wasser	18,53	16,47.
	100,00.	

Die Magnesia hatte also durch die Operation Kohlensäure aufgenommen und Wasser verloren. Die erhaltene Verbindung entspricht einer Zusammensetzung $4\text{Mg} + 3\text{C}$ 4H , welche der Berechnung nach im Hundert zusammengesetzt ist aus:

Magnesia	44,39
Kohlensäure	35,99
Wasser	19,62
	100,00.

Verbindungen von ähnlicher Zusammensetzung wurden, wie oben angeführt, durch Fällung eines Magnesiasalzes durch kohlensaures Kali in der Kochhitze erhalten; nur konnten sie nicht von diesem geringen Wassergehalte, den übrigens schon, wie auch oben bemerkt wurde, Berzelius angegeben hat, erhalten werden.

Der Versuch wurde so abgeändert wiederholt, daß die käufliche kohlensaure Magnesia im trocknen Zustand in einer Atmosphäre von Kohlensäuregas bei 100° C. erhitzt wurde. Die Zusammensetzung der erhaltenen Verbindung war:

		Sauerstoffgehalt.
Magnesia	44,83	17,61
Kohlensäure	35,36	25,70
Wasser	19,81	17,61
	100,00.	

Es ist dies dieselbe Zusammensetzung wie sie im vorigen Versuche erhalten wurde, nur stimmt sie noch genauer mit der nach der Formel $4\text{Mg} + 3\text{C} + 4\text{H}$ berechneten überein.

Es war nun noch zu untersuchen, wie sich die künstlich dargestellte wasserhaltige neutrale kohlensaure Magnesia bei einer Temperatur von 100° C. verhält. Sie wurde dargestellt, indem käufliche kohlensaure Magnesia in Wasser suspendirt, und durch das Gemenge Kohlensäuregas geleitet wurde, bis fast die ganze Menge der kohlensauren Magnesia sich aufgelöst hatte. Die filtrirte Auflösung, im Wasserbade bei 75° C. abgedampft, setzte Krystallkrusten ab, die, nachdem sie über Schwefelsäure getrocknet waren, die Zusammensetzung $\text{MgC} + 3\text{H}$ zeigten, die Berzelius zuerst angegeben hat. Sie enthielten eine kleine Menge Wasser noch mehr, als die Formel angiebt, das aber entweder als Decrepitationswasser im Salze enthalten seyn konnte oder weil dasselbe vielleicht etwas von der Verbindung $\text{MgC} + 5\text{H}$ enthielt, die Fritzsche zuerst dargestellt hat. Die Krystallrinden bestanden nämlich nach der Untersuchung im Hundert aus:

		Sauerstoffgehalt.	Atome.
Magnesia	29,40	11,55	4
Kohlensäure	30,44	22,12	4
Wasser	40,16	35,68	13
	100,00.		

Das Salz wurde nach und nach erhöhten Temperaturen ausgesetzt, die von 50° C. angingen. Aber bis zu 90° C. erhitzt hatte es nur um 0,13 Proc. an Gewicht abgenommen; bei 100° C. indessen betrug der Gewichtsverlust 15,27 Proc. Der Untersuchung unterworfen hatte es dann folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoffgehalt.
Magnesia	36,11	13,98
Kohlensäure	35,88	25,96
Wasser	28,01	14,89
	<hr/> 100,00.	

Diese Zusammensetzung entspricht der eines neutralen Salzes mit einem Atom Wasser. Der gefundene Wassergehalt ist etwas zu groß, und der Kohlensäuregehalt etwas zu klein, aber beim Trocknen war die Temperatur aus Versehen auf einige Augenblicke auf 110° C. gestiegen, was wohl die Ursache dieser Abweichung seyn mochte.

Jedenfalls zeigt der Versuch, daß durch das Wasser bei einer Temperatur von 100° C. keine Kohlensäure ausgetrieben werden kann.

Die Ursache davon ist aber nur die, daß die chemische Masse des Wassers bei diesem Versuch zu gering ist. Vermehrt man aber dieselbe bedeutend, so fängt die Kohlensäuregasentwicklung schon unter dem Kochpunkte des Wassers an. Fritzsche hat gezeigt, daß wenn man das neutrale Salz mit Wasser übergießt, die Kohlensäuregasentwicklung schon bei 75° C. anfängt, und bei steigender Temperatur zunimmt; es bildet sich dann die Verbindung $5\text{Mg} + 4\text{C} + 5\text{H}$.

Daß das Salz durch Abdampfen bei einer Temperatur von 75° C. sich bilden konnte, ohne aus dem neutralen Salze in ein basisches überzugehen, rührt davon her, daß es in der Auflösung als zweifach-kohlensaures Salz enthalten war, und dieselbe daher gleichsam in einer Atmosphäre von Kohlensäure abdampft.

Es ergibt sich aus allen diesen Untersuchungen, daß Kohlensäure und Wasser sich unter gewissen Verhältnis-

sen gegenseitig aus ihren Verbindungen mit Magnesia austreiben können. Sie halten sich aber auch, wenn eins von beiden bedeutend durch die chemische Masse wirken kann, das Gleichgewicht durch die Verwandtschaft, welche zwischen der kohlensauren Magnesia und dem Magnesiahydrat stattfindet.

Wegen dieser Verwandtschaft des Carbonats zum Hydrat, die besonders in dem Verhältniß von 4 At. kohlensaurer Magnesia zu einem At. Magnesiahydrat am bedeutendsten zu seyn scheint, sind gerade die Niederschläge, welche in den Auflösungen der Magnesiasalze durch kohlensaure Alkalien hervorgebracht werden, nicht gut gewählte Beispiele, um den Einfluß des Wasser bei der Fällung kohlensaurer Salze zu erörtern. Von allen Basen, welche aus den Auflösungen ihrer Salze durch kohlensaure Alkalien nicht als neutrale kohlensaure Verbindungen gefällt werden, ist offenbar die Magnesia die stärkste; sie wird auch von vielen Chemikern deshalb oft noch zu den sogenannten alkalischen Erden gezählt. Auch ist sie außer den alkalischen Erden die einzige Base, welche ohne viele Mühe im neutralen kohlensauren Zustand (freilich zugleich mit Krystallwasser verbunden) dargestellt werden kann. Es wird daher durch Wasser weniger und schwieriger Kohlensäure aus der kohlensauren Magnesia ausgetrieben, als aus andern kohlensauren Basen; die Untersuchung anderer Verbindungen von Carbonaten und Hydraten mit schwächeren Basen, von welchen im Folgenden die Rede seyn wird, kann daher das Verhalten des Wassers, wie es oben im Allgemeinen angegeben ist, besser beweisen und erörtern, als gerade die Verbindungen der Carbonate und Hydrate von Magnesia.

Die Verbindung von 4 Atomen kohlensaurer Magnesia mit einem Atom Magnesiahydrat, welche sich, wie es sich aus dem Vorhergehenden ergibt, vorzugsweise bildet, und welche, wenn auch nicht gänzlich, doch mit einer gewissen Hartnäckigkeit der Einwirkung des Wassers widersteht, verhält sich in dieser Hinsicht mehreren Doppelsalzen ähnlich.

von denen in der ersten Abtheilung dieser Abhandlung die Rede gewesen ist. Dafs von allen Verbindungen der kohlen-sauren Magnesia mit dem Magnesiahydrat diese gerade die ist, in welcher beide mit der gröfsten Verwandtschaft verbunden sind, geht schon daraus hervor, dafs andere Verbindungen, welche mehr Magnesiahydrat enthalten, in jene durch Anziehung von Kohlensäure bei einer Tempera-tur von 100° C. überzugehen scheinen. Es ergibt sich aus dem Vorhergehenden, dafs wenigstens die Verbindung von 3 At. kohlen-saurer Magnesia mit einem Atom Magne-siahydrat sich in jene Verbindung verwandelt.

Von dem Standpunkte aus, wie in dieser Abhandlung die Verbindungen der Carbonate mit Hydraten betrachtet worden sind, können die Ansichten von Th. Scheerer über die chemische Constitution der wasserhaltigen Magne-sia-Carbonate in Bezug auf polymere Isomorphie ¹⁾ nicht angenommen werden, indem er in diesen das Wasser als Base betrachtet, welche die Magnesia ersetzen kann.

Wenn die Verbindungen der Magnesia mit Kohlensäure und Wasser der Glühhitze ausgesetzt werden, so verlieren sie bekanntlich letztere Bestandtheile gänzlich und verwandeln sich in reine Magnesia. Es ist indessen interessant die Veränderungen zu verfolgen, welche sie bei höheren Temperaturen, welche aber noch nicht die Rothgluth erreichen, erleiden.

Wird die bei 100° C. getrocknete Verbindung $4\text{Mg}\ddot{\text{C}} + \text{Mg}\ddot{\text{H}} + 5\text{H}$, welche bei den Versuchen I. mittelst Fäl-lung durch kohlen-saures Kali in der Kälte erhalten wor-den war (S. 434) so lange bei 200° C. erhitzt, bis sie ihr Gewicht nicht mehr veränderte, so zeigte sie folgende Zu-sammensetzung:

		Sauerstoff.	Atome.	Berechnete Zu-sammensetzung.
Magnesia	44,66	17,55	16	44,94
Kohlensäure	37,42	27,21	12	36,43
Wasser	17,92	15,93	15	18,63
	100,00.			100,00.

1) Pogg. Ann. Bd. 68, S. 376.

Bei 200° C. hat also die Verbindung sowohl Kohlensäure als auch Wasser verloren, doch bedeutend mehr von letzterem und nur sehr wenig Kohlensäure. Das Verhältniß zwischen Magnesia und Kohlensäure wurde hier dasselbe wie bei den in der Kochhitze durch kohlen-saures Kali gefällten Verbindungen der Versuchsreihen III. und IV., im lufttrocknen oder bei 60° C. getrocknetem Zustande.

Es wurde die bei 100° C. getrocknete durch kohlen-saures Kali in der Kochhitze gefällte Verbindung aus der Versuchsreihe III., welche dieselbe Zusammensetzung $4\text{Mg}\ddot{\text{C}} + \text{Mg}\text{H} + 5\text{H}$, wie die vorhergehende hatte, bei 150° erhitzt. Sie zeigte darauf folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoff.	Atome.	Berechnete Zu- sammensetzung.
Magnesia	43,41	17,05	8	43,33
Kohlensäure	35,02	25,47	6	35,12
Wasser	21,57	19,17	9	21,55
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Auch durch das Erhitzen bei 150° C. war also Kohlensäure und Wasser entwickelt, aber weit weniger Wasser als bei der vorhergehenden Verbindung durch eine Erhitzung bei 200° C. Aber das Verhältniß zwischen Magnesia und Kohlensäure wird auch hier dasselbe wie bei jenem Versuche.

Wurde dieselbe Verbindung bis zu 200° erhitzt, so zeigte sie sich folgendermaßen zusammengesetzt:

		Sauerstoff.	Atome.	Berechnete Zu- sammensetzung.
Magnesia	44,43	17,45	4	44,40
Kohlensäure	35,31	25,68	3	35,97
Wasser	20,26	18,00	4	20,63
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Durch die höhere Temperatur war nur etwas Wasser fortgegangen, aber das Verhältniß der Magnesia zur Kohlensäure ist dasselbe geblieben. Es ist bemerkenswerth, daß durch die Erhitzung bei 200° C. nicht dieselbe Zusammen-

setzung erhalten wurde, wie aus der Verbindung der Versuchsreihe I., durch eine Temperatur von 200° C., aus welcher durch dieselbe mehr Wasser ausgetrieben wurde. Solche Verschiedenheiten in den erhaltenen Resultaten kommen bei diesen Untersuchungen bisweilen vor, und sie hängen unstreitig von der Beschaffenheit der Niederschläge selbst ab, welche bald von mehr oder minder dichterem Zustande aus heißen oder kalten Auflösungen gefällt werden.

Die durch kohlsaures Kali aus der Versuchsreihe IV. heiß gefällte Verbindung, welche ebenfalls die Zusammensetzung $4\text{Mg}\ddot{\text{C}} + \text{MgH} + 5\text{H}$ hatte (S. 437) wurde bis zu 300° C. erhitzt. Nach der Erhitzung hatte sie folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoff.	Atome.	Berechnete Zusammensetzung.
Magnesia	49,98	19,60	4	49,22
Kohlensäure	39,11	28,44	3	39,90
Wasser	11,01	9,78	2	10,88
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Bei der hohen Temperatur von 300° C. hatte also die Verbindung nur wenig Kohlensäure, mehr aber vom Wasser verloren. Das Verhältniß zwischen Magnesia und Kohlensäure ist ganz das nämliche geblieben, wie bei den anderen Versuchen.

Es zeigt sich also bei den Verbindungen der kohlsauren Magnesia mit Magnesiahydrat, wenn sie einer höheren Temperatur ausgesetzt wurden, folgendes Verhalten. Ist in ihnen das Verhältniß der Magnesia zur Kohlensäure wie 5 At. der erstern zu 4 At. der letztern, besteht sie also aus 4 At. kohlsaurer Magnesia und 1 At. Magnesiahydrat, so bleibt dieß Verhältniß unverändert, wenn die Verbindung bei 100° C. erhitzt wird; ist dasselbe wie das von 4 At. Magnesia zu 3 At. Kohlensäure, besteht sie also aus 3 At. kohlsaurer Magnesia verbunden mit 1 At. Magnesiahydrat, so zieht eine solche bei einer Temperatur von 100° C. so viel Kohlensäure an, daß das Verhältniß

von 5 Atomen Magnesia und 4 Atomen Kohlensäure sich herstellt.

Wird die Temperatur über 100° C. erhöht und zwar bis zu 150° , 200° und bis zu 300° C. so verlieren die Verbindungen von 5 Atomen Magnesia mit 4 Atomen Kohlensäure etwas Kohlensäure und verwandeln sich alle in die von 4 Atomen Magnesia mit 3 Atomen Kohlensäure. Die Menge des Wassers, die bei den erhöhten Temperaturen in der Verbindung bleibt, ist verschieden.

Es war nun noch zu untersuchen, wie sich die künstlich bereitete neutrale kohlensaure Magnesia bei erhöhten Temperaturen verhält. Es ist oben S. 443 gezeigt worden, daß sie bei 100° C. von ihren 3 Atomen Wasser 2 verliert, aber das dritte hartnäckig behält. Bei 200° C. lange und anhaltend erhitzt, bis der geringe Gewichtsverlust constant blieb, zeigte sie folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoff.	Atome.	Berechnete Zusammensetzung.
Magnesia	44,38	17,43	3	42,11
Kohlensäure	43,80	31,85	3	45,48
Wasser	11,82	10,51	2	12,41
	<u>100,00.</u>			<u>100,00</u>

Das neutrale Salz hatte also bei 200° C. angefangen etwas Kohlensäure zu verlieren, doch so wenig, daß man in der erhitzten Verbindung die kohlensaure Magnesia fast noch im neutralen Zustand annehmen kann. Dagegen aber hatte sie Wasser verloren, jedoch auch nicht in bedeutender Menge, $\frac{1}{3}$ von dem des bei 100° C. getrockneten Salzes, so daß die Zusammensetzung desselben bei 200° C. durch $3\text{Mg}\ddot{\text{C}} + 2\text{H}$ ausgedrückt werden kann.

Die neutrale wasserhaltige kohlensaure Magnesia wurde nun einer Temperatur von 300° C. ausgesetzt. Anfangs verlor sie schnell und bedeutend an Gewicht, bis sie $\frac{1}{3}$ ihres Wassergehalts verloren und sich in $3\text{Mg}\ddot{\text{C}} + 2\text{H}$ verwandelt hatte; dann aber war der Gewichtsverlust nur ein unbedeutender. Die Temperatur von 300° C. wurde vier

Tage hindurch unterhalten; es war dabei nicht zu vermeiden, daß sie bisweilen noch etwas höher stieg, so daß das Quecksilberthermometer nicht mehr anzuwenden war; aber niemals steigerte sie sich bis zur Rothgluth, auch nicht zur dunkelsten. Nach so lange anhaltendem Erhitzen hatte die Magnesia noch nicht alle Kohlensäure und Wasser verloren; denn die Verbindung zeigte folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoff.	Atome.	Berechnete Zusammensetzung.
Magnesia	88,30	34,69	11	87,84
Kohlensäure	8,56	6,22	1	8,63
Wasser	3,14	2,79	1	3,53
	100,00.			100,00.

Es hatte sich also die wasserhaltige neutrale kohlen-saure Magnesia in die Verbindung $\text{Mg}\ddot{\text{C}} + \text{MgH} + 9\text{Mg}$ verwandelt. Wahrscheinlich würde durch eine noch länger anhaltende Temperatur von 300°C . endlich alle Kohlen-säure und alles Wasser verflüchtigt worden, und reine Magnesia zurückgeblieben seyn.

Es ist bemerkenswerth, daß die bei 300°C . erhitze Verbindung, in Berührung mit Wasser gebracht, sich stark erwärmt, was die durch Glühen erhaltene Magnesia bekanntlich nicht thut. Die durchs Glühen, selbst durch schwaches Glühen erhaltene Magnesia hat also eine weit größere Dichtigkeit, als die durch eine Erhitzung von 300°C . erhaltene.

Auffallend ist es, daß nur aus der künstlich bereiteten wasserhaltigen neutralen kohlen-sauren Magnesia durch Erhitzung bis 300°C . fast alle Kohlensäure und alles Wasser verflüchtigt werden können, nicht aus den durch Fällung vermittelst kohlen-sauren Alkalien erhaltenen Niederschlägen von kohlen-saurer Magnesia mit Magnesiahydrat. Es müssen diese daher durch ihre größere Dichtigkeit mehr der Einwirkung der Hitze widerstehen. Man könnte die Frage aufwerfen, ob vielleicht deshalb in ihnen das Wasser die Kohlensäure nicht auszutreiben vermag, weil es selbst als

Säure in ihnen vollständig durch Magnesia gebunden enthalten ist, und daher nicht auf die Kohlensäure einwirken kann, während in der neutralen kohlensauren Magnesia das Wasser nicht als Magnesiahydrat, sondern als Krystallwasser enthalten ist, das freilich zum Theil noch bei 200° C. nicht verflüchtigt wird, und dann bei höherer Temperatur, bei 300° C., gleichsam als freie Säure auftreten kann. Wenn dieß aber der Fall seyn sollte, so würde sich eine Verbindung von kohlensaurer Magnesia mit Magnesiahydrat bilden, das, wie so eben gezeigt worden ist, der Zersetzung durch eine Temperatur von 300° C. widersteht.

Wie dem auch sey, so wird, wenn man die chemische Masse des Wassers sehr vermehrt, durch dasselbe schon bei einer sehr niedrigen Temperatur, bei 75° C., Kohlensäure aus der neutralen kohlensauren Magnesia ausgetrieben, und dieselbe verwandelt sich in eine Verbindung von Magnesiahydrat mit kohlensaurer Magnesia, wie dieß schon oben S. 444 erwähnt worden ist.

Die Ansicht, daß es das Wasser ist, welches bei Temperaturen unter der Rothgluth die Kohlensäure aus der kohlensauren Magnesia austreibt, wird durch das Verhalten der wasserfreien kohlensauren Magnesia, welche unter dem Namen Magnesit in der Natur vorkommt, bei erhöhter Temperatur bestätigt. Diese verhält sich ganz anders als die wasserhaltige kohlensaure Magnesia.

Es wurde zur Untersuchung der harte Magnesit von Baumgarten in Schlesien angewandt, der nach Stromeyer ¹⁾ folgende Zusammensetzung hat:

Magnesia	47,63
Manganoxyd	0,21
Kohlensäure	50,75
Wasser	1,41
	<hr/> 100,00.

Das gepulverte Mineral, bei 100° C. getrocknet, verlor nach mehrstündigem Erhitzen bis zu 200° C. nur 0,04 Proc.; dann aber, als die Temperatur bis zu 300° gesteigert, und

1) Dessen Untersuchungen über die Mischung des Mineralkupfers S. 119.

dieselbe während eines ganzen Tages unterhalten wurde, konnte keine Gewichtsverminderung mehr bemerkt werden.

Das bis zu 300° C. erhitzte Mineral zeigte bei der Untersuchung, bei welcher auf den Mangangehalt keine Rücksicht genommen wurde, folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoff.	Atome.	Berechnete Zusammensetzung.
Magnesia	48,42	19,02	1	48,07
Kohlensäure	51,66	37,57	1	51,93
	<u>100,00.</u>			<u>100,00.</u>

Im Reagenzglas geglüht, gab das bis zu 300° C. erhitzte Mineral keine Spur von Wasser; aus dem bei 100° C. getrockneten aber konnte durchs Glühen im Reagenzglase eine sehr kleine Menge von Wasser ausgetrieben werden. Die Menge desselben, welche bei 200° verjagt wurde, betrug nur wie so eben bemerkt 0,04 Proc. Stromeyer hat offenbar wohl den Wassergehalt zu hoch angegeben. Er bestimmte denselben auf die Weise, daß er den Magnesit über Kohlenfeuer bis zur anfangenden Entweichung der Kohlensäure erhitzte, giebt aber nicht an, ob er die zugleich entwichene Kohlensäure von dem Gewichtsverlust in Abzug gebracht habe.

Daß aber auch selbst bei dem Magnesit Kohlensäure durch Wasser bei einer niedrigen Temperatur ausgetrieben werden kann, ist schon oben erwähnt worden. Denn wenn man das feine Pulver desselben anhaltend mit Wasser kocht, so wird Kohlensäure entwickelt, die mit den Wasserdämpfen entweicht.

VII. *Beiträge zur Kenntniss des Augits und der Hornblende; von F. Sandberger.*

Verschiedene neue Beobachtungen, zu welchen ich theils selbst das Material gesammelt, theils dasselbe durch die Güte des Hrn. Grandjean zu Marienberg erhalten habe, veranlassen mich, auf das von mir in diesen Ann. Bd. 76, S. 112 besprochene gemeinschaftliche Vorkommen von Augit und Hornblende nochmals einzugehen.

An der Hornblende habe ich nun auch noch die Flächen *O* und schöne Zwillinge beobachtet.

Wenn ich dort behauptete, es seyen Augit und Hornblende immer scharf von einander geschieden, so muß ich dieß jetzt dahin modificiren, daß keiner bei Umwandlung des einen Minerals in das andere (Uralithbildung) bis jetzt wahrgenommen worden ist. Dagegen sind mehr oder minder ausgezeichnete Verwachsungen beider Körper mehrfach beobachtet:

1. Zwillingkrystall, zur Hälfte aus Augit, zur anderen aus Hornblende bestehend. Der Augit zeigt die schon erwähnte Combination:

O. ∞O . $\infty O \infty$. ($\infty O \infty$); die Hornblende

O'. ∞O . ($\infty O \infty$). OO ; die Flächen der Klinodome

O und *O'* sind die gemeinschaftlichen.

- 2^a. Aus der Fläche ($\infty O \infty$) eines sehr scharf ausgebildeten matten Augitkrystalls von 3^m Größe ragt das Ende eines stark glänzenden Hornblendekrystalls von 0,5 Durchmesser Oberfläche heraus, zeigt selbst jedoch wieder einen rundlichen Eindruck, welcher durch verwitterte Basaltmasse ausgefüllt ist.

- 2^b. Ein Augitzwilling der Combination:

O. ∞O . $\infty O \infty$. ($\infty O \infty$). *O* ∞ , ist von einem einzelnen Augitkrystalle derselben Combination dergestalt durchwachsen, daß sich sämtliche gleiche Flächen in paralleler Lage befinden. Auf der hervorstehenden Kli-

- nodomenfläche des einfachen Krystalls, hart an der Berührungsfläche mit ∞O des Zwillinges erhebt sich das Ende eines Hornblendekrystalls von derselben Beschaffenheit wie bei 2^a.
3. Ganz kleine Augitkrystalle, einfache und Zwillinge, ragen aus den Flächen grosser Hornblendekrystalle der angegebenen Combination hervor. Am häufigsten bemerkt man sie auf ($\infty O \infty$), aber auch auf O' und ∞O kommen sie öfter vor, hier ohne den geringsten Parallelismus mit Flächen der einschliessenden Hornblendekrystalle.
 4. Ein grosser Augitkrystall enthält, durch die ganze Masse zerstreut, hellröthlich braune krystallinische Parthien eines Minerals eingewachsen, welches nach seiner Structur, seinem Glanze u. s. w. für Chrysolith im Stadium der beginnenden Zersetzung gehalten werden muss.
 5. Diefs Hornblendekrystall von 1" Länge enthält eben solche kleine Chrysolithparthien, zugleich aber ein am Rande theilweise von Chabasit umgebendes, 4—5" im Durchmesser haltendes Bruchstück des zersetzten blasigen Basaltes, welcher das Muttergestein sämtlicher Krystalle bildet, sowie zahlreiche unregelmässige (wurmgangartige) kleine Höhlungen, welche mit Chabasit angefüllt sind.
 6. Ein Hornblendekrystall von 5" Länge, dessen klinodiagonale Flächen eine ausgezeichnete Längsfurchung wahrnehmen lassen, welche von anderen theils parallel OO und O' , theils ganz unregelmässig verlaufenden stärkeren Furchen gekreuzt wird, ist zum Drittel mit Chabasit, zwischen welchen einzelne Bröckchen des Muttergesteins liegen, ausgefüllt. Dasselbe ist bei einem zweiten kleineren Krystalle der Fall.
 7. Ein unregelmässig ausgebildeter Hornblendekrystall zeigt in der Mitte eine Höhlung, deren Wände vielleicht einem verschwundenen hexagonalen Prisma angehört haben, jetzt theilweise mit einer ganz dünnen

Rinde eines bolartigen Minerals bedeckt sind, auf welcher Chabasitkrystalle aufsitzen. Die Form ist deutlich genug, um die frühere Anwesenheit eines krystallisirten prismatischen Minerals darzuthun; welchem Systeme dasselbe aber angehört haben mag, weifs ich nicht zu entscheiden, da die Anhaltspunkte hierzu zu unsicher sind. In den nassauischen Trachyten finden sich bekanntlich häufiger Nadeln von glasigem Feldspath als Kerne von Hornblendekrystallen, und im Basalte von Naurod öfter Nephelin auf dieselbe Weise als Kern von Augit. Auf letzteres Mineral möchte ich den Eindruck noch am ersten beziehen.

Fasst man alle Erscheinungen zusammen, so ergibt sich folgendes Resultat. Die Beobachtungen 1—3 beweisen unzweifelhaft die gleichzeitige Bildung des Augits und der Hornblende. Die Beobachtungen 4 und 5 lassen ausserdem eine mit diesen Körpern gleichzeitige Bildung des Chrysoliths nicht bezweifeln.

Nun fragt es sich nur: in welches Stadium der Gesteinsentstehung fällt die Ausscheidung dieser Mineralien, und hier scheint mir die Beobachtung 6 anzudeuten, dass die Hornblende wenigstens sich bei der Erstarrung des Basaltes aus der Masse desselben in derselben Weise ausgeschieden habe, wie die Leucite mit eingeschlossenen Lavabrocken aus der Lava ¹⁾. Von dem Vorkommen des Chabasits darf man bei dieser Frage um so mehr absehen, als Niemand ihn für eine primäre Bildung halten wird, ich zudem auch an einem anderen Orte denselben als ein allgemeines Zersetzungsproduct der Westerwälder Basalte nachgewiesen habe ²⁾.

Augit und Hornblende können sich nicht zu einander verhalten wie die allotropischen Modificationen des Schwe-

1) Leop. v. Buch Journ. der Phys. VI. S. 352.

2) Uebersicht der geologischen Verhältnisse d. Herzogthums Nassau 1847 S. 76, 98. — Bischof chemisch-physikalische Geologie II, 3. S. 600. II, 4. S. 795.

fels oder der Titansäure, denn es läßt sich eine Verschiedenheit der Bedingungen ihrer Bildung nach den vorhergeschilderten Thatsachen wohl nicht annehmen und den noch zeigen sich beide Körper in allen physikalischen Eigenschaften, wie in der Krystallform, scharf von einander getrennt. Bisjetzt hat immer verschiedene Temperatur bei der Ausscheidung als eine der wesentlicheren Ursachen der Entstehung allotropischer Zustände von derselben chemischen Verbindung gegolten. Aber auch dieses scheint wenigstens nicht die einzige Ursache zu seyn, da z. B. im Westerwälder Basalte rosenrother Arragonit und gelber Kalkspath so weit mit einander verwachsen vorkommen, dafs auch hier nur die Annahme einer Bildung unter gleichen Bedingungen möglich scheint. Beide müssen daher vorläufig selbstständige Mineralspecies bleiben.

Wenn nun auch diese Ansicht nicht neu ist, sondern ganz mit der von G. Rose ¹⁾ zuletzt ausgesprochenen übereinstimmt, so glaube ich doch in einigen Punkten ihr noch stärkere Beweise hinzugefügt zu haben, als es von G. Rose geschehen ist. Namentlich halte ich die unter 3 erwähnten Beobachtungen für entscheidend in dieser Sache.

Bisjetzt sind specielle Beobachtungen über das Verhältnifs des im Basalte vorkommenden Augits zur Hornblende noch gar nicht angestellt, denn alle von G. Rose Blum und Haidinger angeführten beziehen sich nur auf Varietäten aus den älteren krystallinischen Gebirgsarten und dem Melaphyr. Die sogenannten Uralite werden durch diese Beobachtungen wieder um Vieles räthselhafter, wenn nicht zwischen den Augiten und Hornblenden der älteren krystallinischen Gesteine und denen des Basaltes wesentliche Unterschiede bestehen. Die Erklärung derselben als einfache Pseudomorphosen glaube ich, reicht nicht für alle Erscheinungen derselben aus.

Die Verbreitung des porphyrtartigen Basaltes, welcher diese Krystalle umhüllt, ist, wie Naumann ²⁾ richtig be-

1) Diese Ann. Bd. XXXI. S. 621.

2) Geognosie I. S. 651.

merkt, nicht auf den Westerwald beschränkt, vielmehr findet sich derselbe im böhmischen Mittelgebirge, in Sachsen, am Vogelsberge und, nach mündlichen Mittheilungen des Hrn. Gutberlet zu Fulda, auch in der Rhön. Soweit ich das Vorkommen desselben beurtheilen kann, führt er überall nur sehr wenig Olivin.

Die olivinreichen Basalte, wie z. B. der von Naurod bei Wiesbaden, enthalten auch Hornblende und Augit zusammen, letzteren jedoch sehr vorwaltend und beide fast nie in Krystallen, sondern in unregelmässig begränzten krystallinischen Parthien. Beide Gesteine werden daher wenigstens als Varietäten unterschieden, und bei der Anführung von Basaltvorkommen in geognostischen Arbeiten wird bemerkt werden müssen, ob zu einem dieser Gesteine ein fraglicher Basalt gehöre.

Es ist nicht unmöglich, dass sich auch in den Lagerungsverhältnissen dieser Basalte eine Verschiedenheit zeige.

Während ich noch mit der Untersuchung der vorstehenden Thatsachen beschäftigt war, erhielt ich durch die Güte des Hrn. Grandjean zu Marienberg und des Hrn. Horstmann zu Diez künstlichen Augit aus dem Eisen- und Kupferhüttenprocesse. Wiewohl nun bereits mehrfach solche krystallisirte Hüttenproducte geschildert worden sind, kann ich mir doch nicht versagen, über diese nassauischen Vorkommnisse noch Einiges hier mitzutheilen.

Die Krystalle aus dem Eisenhüttenprocesse der Nisterthaler Hütte bei Hachenburg sitzen theils auf Roheisen, theils auf dem Gestellstein, einem gefrittetem Quarzite, auf. Von dem auf den Roheisen aufgewachsenen $1\frac{1}{2}''$ grossen Individuen konnte ich die Form genau bestimmen. Sie stellen die Combination $O \propto O$. ($\propto O \propto$) dar und besitzen sehr lebhaften Glanz und rabenschwarze Farbe. Härte, Schmelzbarkeit vor dem Löthrohre u. s. w., sind die gewöhnlichen. Weit häufiger trifft man in der Richtung der Hauptaxe sehr verlängerte bräunlichgraue Prismen, wie sie am Diopside und Sahlite vorkommen, auf Klüften des

Gestellsteins. Convexe Flächen zeigen sich an diesen Krystallen nicht, dagegen um so deutlicher an jenem aus dem Kupferhüttenprocesse der englischen Hütte bei Nanzenbach unweit Dillenburg. Diese kommen weit größer (3—5") vor und zeichnen sich durch blauschwarze Farbe, geringeren Glanz und leichtere Schmelzbarkeit vor dem Lößbrohr aus. Ich werde über diese so wie über einige andere nassauische Hüttenproducte später Näheres mittheilen.

Wiesbaden, den 9. December 1850.

VIII. *Ueber die Zusammensetzung des Augits und der Hornblende von Härtlingen nebst einigen allgemeinen Bemerkungen über beide Mineralien;*
von C. Rammelsberg.

Hr. Dr. F. Sandberger beschrieb ¹⁾ vor einiger Zeit das gemeinschaftliche Vorkommen von Augit- und Hornblendekrystallen in dem Basalttuff von Härtlingen im Westerwald, und schickte mir von beiden eine Quantität, so dafs ich Gelegenheit erhielt, eine vergleichende Analyse anzustellen, die bei dem eigenthümlichen Zusammenhang zwischen ihnen von Interesse seyn mußte.

Der *Augit* erwies sich beim Zerschlagen im Innern homogen; sein spec. Gew. als grobes Pulver fand sich = 3,380, und seine Zusammensetzung:

			Sauerstoff.
Kieselsäure	47,52		24,69
Thonerde	8,13		3,79
Eisenoxydul	13,02	2,89	13,27
Manganoxydul	0,40	0,09	
Kalkerde	18,25	5,19	
Talkerde	12,76	5,10	
	100,08.		

1) Diese Ann. Bd. 76, S. 111.

Die *Hornblende* dagegen ist im Innern schon theilweise zersetzt, und es haben sich Nester und Adern einer braunen thonigen Substanz gebildet. Sie wurde, um diese zersetzten Partikeln zu entfernen, in grobes Pulver verwandelt, und diefs durch Schlämmen und Behandeln mit verdünnter Chlорwasserstoffsäure gereinigt, so dafs es rein schwarz und glänzend erschien. Das spec. Gew. war dann = 3,270.

Die Analyse *a* und *b* sind mittelst kohlensauren Natrons, *c* mit Fluorwasserstoffsäure gemacht.

	<i>a.</i>	<i>b.</i>	<i>c.</i>	Mittel.	Sauerst.
Kieselsäure	42,64	42,41		42,52	22,09
Thonerde	10,54	10,74	11,68	11,00	5,14
Eisenoxydul	16,61	16,22	16,94	16,59	3,68
Manganoxydul	0,48				
Kalkerde	12,25	12,27	12,24	12,25	3,48
Talkerde	13,36	13,52	13,46	13,45	5,38
Natron			1,71	1,71	0,43
Kali			1,92	1,92	0,32
Titansäure			1,01	1,01	
				100,45.	

Der *Augit* ist reicher an Thonerde als die meisten dergartigen Varietäten, stimmt aber sonst ziemlich nahe mit dem von Kudernatsch untersuchten aus dem Fassathale. Die *Hornblende* steht am nächsten der von Bönndorf untersuchten vom Vogelsberg in der Wetterau.

Bei der Vergleichung der procentischen Werthe beider sieht man sogleich wesentliche Unterschiede in ihrer Zusammensetzung. Während im *Augit* 1 At. Thonerde gegen 6 At. (6,5) Kieselsäure enthalten sind, findet in der *Hornblende* das Verhältnifs von 1:4 (4,3) statt. In jenem stehen die Aequivalente von Eisenoxydul, Talkerde und Kalkerde in dem Verhältnifs von 1:1,71:1,74, in dieser 1:0,95:1,46.

Rechnet man im *Augit* die Thonerde zur Kieselsäure so ist das Sauerstoffverhältnifs = 1:2,15. Nur wenn man 2 At. Thonerde = 1 At. Kieselsäure nimmt, würde es ge-

nau = 1:2 seyn. Bei der Hornblende findet sich die Proportion 1:2,05, die der Augitmischung sogar besser entspricht als die des Augits selbst.

Dieses Beispiel von Uebereinstimmung steht freilich nicht isolirt da. Ich habe schon früher darauf aufmerksam gemacht, daß der thonerdefreie schwarze Augit vom Taberg sogar noch säurereicher ist als die meisten Hornblenden, da er das Sauerstoffverhältniß von $1:2,38 = 4:9,5$ zeigt. Allerdings lassen die thonerdehaltigen Glieder keinen eben so sicheren Vergleich zu, allein es scheint denn doch ausgemacht, daß manche Augite, (von Pargas, von den Azoren, Hochofenschlacke von Olsberg in Augitkrystallen) mehr Säuren enthalten, als zu einem Bisilicat gehört. Die bekannte Erfahrung, daß Hornblende durch Schmelzen zu Augit wird, die ebenso bekannte geometrische Abhängigkeit ihrer Krystallformen, die Existenz des Uralites, einer Substanz, welche die Spaltungsrichtungen und die Zusammensetzung der Hornblende mit der äußeren Form des Augits vereinigt, so wie die regelmäsig sich wiederholende Verwachsung beider Mineralien im Smaragdit führen doch wohl zu der Annahme, daß sie isomorphe Verbindungen im weiteren Sinne seyen, daß m Atome Trisilicat die Form von n Atomen Bisilicat nicht ändern.

So wird es Hornblenden geben können, welche reine Bisilicate $R^3\ddot{Si}^2$ sind, und Augite $= mR\ddot{Si} + nR^3\ddot{Si}^2$.

Die bisher für die Hornblende angenommene Formel, in welcher m und $n=1$ sind, findet gerade in den wenigsten Fällen ihre Bestätigung. Bei den thonerdefreien variiert das Sauerstoffverhältniß, welches hiernach stets = 4:9 seyn sollte, von 4:8,7 bis 4:9,3. Bei den thonerdehaltigen von 4:8,20 bis 4:11, und das Verhältniß 4:9,33 ist merkwürdigerweise bei beiden das allergewöhnlichste¹⁾; die ihm entsprechende Formel ist aber $= 3R\ddot{Si} + 2R^3\ddot{Si}^2$.

1) Ihm entsprechen unter den thonerdefreien der Tremolit von Fahlun, der Strahlstein vom Taberg, die Hornblende von Helsingfors; unter den thonerdehaltigen die Varietäten von Kongsberg, Kimito, la Prese, Lindbo, Vogelsberg, Böhmen, der Uralit vom Baltyssee u. s. w.

IX. *Ueber ein neues Zwillingsgesetz beim Quarz;*
von G. Rose.

Zwillingskrystalle sind beim Quarz eine sehr gewöhnliche Erscheinung, aber sie sind gewöhnlich von der Art, daß die Individuen des Zwillings parallele Hauptaxen haben. Zwillingsskrystalle mit gegen einander geneigten Hauptaxen sind auch vorgekommen, hatten sich aber bisher nur äußerst selten gefunden. Man kannte eigentlich bisher nur ein einziges Exemplar der Art, das von Hrn. Weifs in den Schriften der Akademie ¹⁾ beschrieben, und unter dem Bergkrystall vom Dauphiné vorgekommen war. Die Zwillingsebene war hier eine Abstumpungsfläche einer Endkante des gewöhnlichen Hexagondodecaëders, und die Axen beider Individuen waren demnach, wenn man die Messungen von Kupffer zum Grunde legt, unter einem Winkel von $84^{\circ} 33'$, d. i. dem doppelten Neigungswinkel einer Endkante gegen die Hauptaxe geneigt. Dieser Zwillingsskrystall war Hrn. Weifs nur zur Ansicht mitgetheilt; die Königl. Sammlung besitzt keine Zwillingsskrystalle der Art, und es ist mir nicht bekannt, daß sie noch von anderen Beobachtern aufgefunden wären. Desto mehr war ich überrascht auf einer unscheinbaren Quarzdruse von Reichenstein in Schlesien eine größere Menge von Zwillingsskrystallen zu finden, deren Individuen alle mit geneigten Hauptaxen verbunden sind, wenn auch nach einem anderen Gesetze als nach dem von Hrn. Weifs beschriebenen.

Die Zwillingsebene ist nämlich, eine Hauptrhomboëderfläche; die Krystalle sind aber nicht mit dieser, sondern mit einer darauf senkrechten Fläche verbunden, und die Krystallgruppe besteht auch nicht aus zwei, sondern aus vier Individuen, indem an einen mittleren Krystall drei Individuen so angewachsen sind, daß eine Hauptrhomboëder-

1) Vom Jahre 1829 S. 31 und daraus im Auszuge in Pogg. Ann. Bd. 27, S. 698.

fläche von jedem der letzteren mit einer der drei Hauptrhomboëderflächen des mittleren Krystalls in gleicher Ebene liegt, so wie es die Fig. 16 und 17 von Taf. II. anzeigen, von denen die eine eine Ansicht von der vordern, die andere von der hintern Seite der Gruppe darstellt, und an denen die Hauptrhomboëderflächen der drei angewachsenen Individuen, die mit den drei Hauptrhomboëderflächen R_1 , R_2 , R_3 des mittleren Individuums in eine Ebene fallen mit R'_1 , R'_2 , R'''_3 bezeichnet sind. Der Winkel der Axen zweier zwillingsartig verbundenen Krystalle gegeneinander ist demnach der doppelte Complementswinkel der Neigung der Flächen zur Axe. Nimmt man letzteren nach den Messungen von Kupffer zu $38^\circ 13'$ an, so beträgt die Neigung der Axen zweier Krystalle $103^\circ 34'$. Denselben Winkel machen auch die zwei Seitenflächen der Prismen, worauf die gemeinschaftlichen Rhomboëderflächen aufgesetzt sind, während die benachbarten Seitenflächen einen einspringenden Winkel von $115^\circ 14'$ machen. Wie die Hauptrhomboëderflächen zweier Individuen, so sind natürlich auch die einander diagonal gegenüber liegenden Combinationskanten dieser Rhomboëderflächen mit den Gegenrhomboëderflächen r , sowie die diesen parallelen Combinationskanten mit den Seitenflächen des sechsseitigen Prismas g , z. B. die Kanten l und l_1 und m und m_1 einander parallel. Die Flächen des Hauptrhomboëders sind bedeutend gröfser als die des Gegenrhomboëders; ebenso sind die Seitenflächen, worauf die Flächen des Hauptrhomboëders aufgesetzt sind, und ihre abwechselnden gröfser als die anderen, daher das Prisma das Ansehen eines dreiseitigen Prismas mit abgestumpften Seitenkanten hat ¹⁾. Rhomben- und Trapezflächen sind nicht zu sehen.

Die beschriebenen Quarzzwillinge finden sich, nach dem Stücke der Königl. Sammlung zu urtheilen, auf kleinen Quarzgängen in dem Reichensteiner Serpentin, der mit kleinen Krystallen von Arsenikeisen erfüllt ist. Der Quarz ist 2 bis 3 Linien hoch auf den Saalbändern der Gänge

1) Ersteres ist in den Zeichnungen ausgedrückt, letzteres nicht.

rechtwinklig aufgewachsen, und, wo die Gänge sich erweitern und in der Mitte Drusen bilden, auskrystallisirt. In diesen Drusen befinden sich nun die beschriebenen Quarz-zwillinge, die auf dem seitlichen Quarz aufsitzen. Sie sind dicker und undurchsichtiger als die darunter sitzenden Quarzkrystalle, die ziemlich durchsichtig sind, und so also offenbar von späterer Bildung als diese. Neben diesen Zwillingskrystallen befinden sich auch noch einige Kalkspathkrystalle in dem ersten stumpferen Rhomboëder.

Nachdem ich diese Notiz schon niedergeschrieben hatte, zeigte mir Hr. Geh. Rath Weifs ein ganz ähnliches Stück mit denselben aufsitzenden Quarzkrystallen, welches er schon im vorigen Sommer von einem seiner Zuhörer erhalten hatte. Es war nur eine Krystallschale von dem durchsichtigen Quarz von der einen Wand des Ganges, worauf die undurchsichtigeren Zwillingskrystalle saßen. Die durchsichtigen Quarzkrystalle hatten eine schwache amethystartige Färbung. Es scheint demnach, daß diese Quarzkrystalle in größerer Menge vorgekommen sind.

X. *Ueber den Fessel'schen elektromagnetischen Motor; von Plücker.*

Hr. Page in Nordamerika hat bekanntlich in neuerer Zeit die Kraft, welche einen Eisenkern in eine elektromagnetische Spirale hineinzieht, im Großen benutzt, um Bewegung hervorzubringen. Hr. Hankel in Leipzig hat dasselbe versucht, und das in praktischer Beziehung wichtige Gesetz aufgestellt, daß diese Kraft sich wie das Quadrat der Stromstärke verhält. Auf meine Aufforderung hat Hr. Fessel seinerseits das Modell einer Maschine angefertigt, über deren Ausführbarkeit im Großen ich einstweilen zwar,

was die ökonomische Frage betrifft, kein Urtheil habe, die aber, als physikalischer Apparat, die Anwendung der fraglichen Kraft anschaulich macht und in günstigem Lichte zeigt.

Das Fessel'sche Modell besteht aus zwei horizontal liegenden, an einander stossenden Spiralen *A* und *B* (Fig. 21 Taf. II.). Durch diese wird der Strom immer in derselben Richtung hindurchgeleitet aber so, daß er abwechselnd immer nur durch eine derselben geht. Im Inneren der Spiralen befindet sich ein Eisenkern, der, indem er abwechselnd in die beiden Spiralen hineingezogen wird und dabei immer dieselbe Polarität behält, sich hin und her bewegt. An den beiden Enden des Eisenkerns sind zwei dünnere Messingstücke *C*, *D* eingelassen, die, auf zwei beweglichen Rollen *E* und *F* aufliegend, das Ganze tragen. Die eine dieser Messingstangen setzt das Schwungrad *G* in Bewegung. Der Commutator *R* wird durch eine excentrische Scheibe *H*, an der eine Leitstange *J* angebracht ist, bewegt. Die excentrische Scheibe ist in gleicher Weise eingerichtet, wie bei den Dampfschiffen, so daß die Maschine vorwärts und rückwärts gehen kann. In einer Modification des Apparates ist die Commutation unmittelbar an der Axe angebracht.

Schon bei Anwendung von zwei kleinen Grove'schen Elementen bewegt sich das Modell mit großer Geschwindigkeit. Bei Anwendung von sechs solchen Elementen, war die Geschwindigkeit so groß, daß eine Zertrümmerung des Apparates zu befürchten stand und ich, bevor die volle Wirkung eintrat, den Strom unterbrechen mußte ¹⁾.

Bonn, den 25. Mai 1851.

1) Hr. Fessel, der Lehrer an der Provinzial-Gewerbeschule zu Cöln und Mechaniker ist, liefert seinen Apparat zu 35 Thlr. Er meldet mir eben vor Abgang dieser Notiz, daß er einen neuen Apparat mit oscillirenden Drahtrollen, den Dampfmaschinen mit oscillirenden Cylindern nachgebildet, beinahe vollendet habe.

XI. *Ueber den am 17. April d. J. zu Gütersloh in Westphalen herabgefallenen Meteorstein.*

(Von Hrn. Dove am 1. Mai in d. Akademie vorgetragen.)

Monatsbericht vom Mai.)

Von Hrn. Dr. Stohlmann, dem durch eine vieljährige Beobachtungsreihe um die Klimatologie Westphalens höchst verdienten Beobachter der dortigen meteorologischen Station des mit dem statistischen Bureau verbundenen meteorologischen Instituts, erhielt ich durch einen Brief vom 24. April Nachricht von dem Meteorsteinfall, welcher sich in Gütersloh am 17 April Abends 8. Uhr ereignet hatte. Da durch die Bemühungen des Dr. Stohlmann es gelungen ist, den Meteorstein für die hiesige Königl. Mineraliensammlung zu gewinnen und derselbe sich bereits hier befindet, so erlaube ich mir nur hier die das Herabfallen des Steines begleitenden Erscheinungen mitzutheilen.

»Colonist Dipenbrock, etwa zwei Büschenschüsse von der Stadt entfernt wohnend, arbeitete noch gegen 8 Uhr Abends auf seinem Hofe, als die hinter seinem Rücken am Himmel erscheinende Feuerkugel eine so ungewöhnliche Helle verbreitete, daß er selbst kleinere Gegenstände deutlich erkennen konnte. Die Farbe des Lichtes wird von ihm und von allen anderen Beobachtern als eine röthliche bezeichnet; die Dauer der Lichterscheinung auf etwa 12 Sekunden angegeben. Die Feuerkugel wurde in der scheinbaren GröÙe des Mondes gesehen, erschien in Osten und zog, einen langen Schweif hinter sich lassend, nach Südwest, wo sie in einer Höhe von 45° in viele kleine leuchtende Funken zerstob. Fast zwei Minuten (approximativ) nachher hörte man ein Geräusch, welches nach einigen Beobachtern sich wie ferner dumpfer in ganz kurzen Absätzen wiederholender Kanonendonner, nach andern wie das Knattern von kleinem Gewehrfeuer anhörte. Die Dauer dieses Geräusches schätzte man auf 8 — 10 Sekunden. Etwa 10 Minuten nach dem Verschwinden des röthlichen Licht-

scheins hörte nun der Finder des Aërolithen, der im Freien auf seinem Hofe sich befand, ein brausendes Getöse (er verglich es mit dem rauschenden Fluge einer Schaar Vögel) und kurz darauf das Geräusch eines fallenden Körpers. Er suchte bei der immer zunehmenden Dunkelheit vergebens nach dem niedergefallenen Gegenstand, aber durch das starke Geräusch getäuscht nur in dem Umkreis von etwa 30 — 40 Schritt von seinem Standpunkte entfernt. Am Morgen des folgenden Tages wiederholte derselbe seine Nachforschungen und fand dann endlich in einer Entfernung von etwa 150 Schritt in südwestlicher Richtung von der Stelle, wo er das Niederfallen gehört hatte, auf einem Fußspfade, der bei einem Roggenfelde vorbeiführt, einen schwarzen Stein. Dieser hatte sich etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll tief in den festgetretenen Fußspfad eingedrückt. Die Decke des Weges war hier aber so fest, daß es mir nicht möglich war, mit der Spitze des Spatzierstockes tiefer als einen Zoll einzubohren, und die mit einem Grabscheit herausgenommene Stelle, auf welche der Aërolith gefallen war, zeigte in einer Tiefe von mehreren Zollen einen steinharten Untergrund von eisenschüssigem Sande (sogenanntem Oorgrund).“

Nachtrag.

In der Sitzung vom 1. Juni legte Hr. G. Rose den eben erwähnten, bei Gütersloh gefallenen Meteorstein der Akademie vor, und fügte folgende Bemerkungen über die Beschaffenheit des Steins hinzu.

Der Stein ist, bis auf ein kleines Stück, welches abgeschlagen ist, ganz vollständig und also fast gänzlich mit der schwarzen Rinde bedeckt, die glanzlos ist. Er hat die Gestalt einer etwas schiefen abgestumpften vierseitigen Pyramide, deren Seite etwa 3 Zoll hoch ist, und besitzt ein Gewicht von 1 Pfd. 26 $\frac{1}{2}$ Lth. Pr. Die eine der Seitenflächen ist etwas rundlich, aber fast glatt; die anderen Flächen haben sämmtlich rundliche Eindrücke, und es hat fast den Anschein als wäre der vorliegende Stein nur ein

Stück einer größeren Masse, von dem die glatte Seitenfläche einen Theil der ursprünglichen Oberfläche bildete. Seiner Beschaffenheit nach, gehört er zu der gewöhnlichen Art der Meteorsteine. Auf der Bruchfläche ist er auf der einen Hälfte sehr licht graulichweiß, auf der anderen dunkler gefärbt und aschgrau, und beide Farben schneiden ziemlich scharf von einander ab. Beide Massen sind aber matt, und enthalten kleine kugelige Parthien, wie dies bei dieser Masse von Meteorsteinen häufig der Fall ist, und außerdem gediegenes Eisen, welches gewöhnlich in sehr feinen Theilen durch die ganze Masse vertheilt ist, aber auch in einzelnen Körnern von der Größe eines Stecknadelknopfes darin liegt.

XII. Ueber den Lichtschweif der Feuerkugeln.

Eine zwischen den HH. Le Verrier und Petit über die Feuerkugeln geführte Discussion, auf die wir noch zurückzukommen gedenken, hat den Astronomen Faye zu folgender Bemerkung in den *Compt. rend. T. XXXII. p. 667* Anlaß gegeben.

Mehrmals habe ich Feuerkugeln unter Verbreitung eines lebhaften Lichts den Himmel durchfliegen gesehen, und jedes Mal, wenn mir ein Fernrohr zu Gebote stand, habe ich mich bemüht, den von ihnen zurückgelassenen Lichtschweif zu untersuchen. Dabei habe ich folgendes erkannt: 1) der Schweif schien mir gerade und unbewegt zu seyn; 2) er nimmt wenig an Glanz ab, verschiebt sich und zergeht wie eine Rauchsäule, die in ruhiger Luft zu ihrer größten Höhe gelangt ist; 3) er ist anfangs gerade dann geschlängelt, zertheilt sich in Flocken und verschwindet an der Stelle, nachdem er ganze Minuten gedauert hat (ich spreche von wirklichen, am Pendel beobachteten

Minuten). Einen dieser Schweife sah ich mehr als drei Minuten verweilen, ohne merklich seinen Ort zu verändern, und ich weiß, daß andere Beobachter eine Dauer von mehr als sieben Minuten wahrgenommen haben.

Hieraus scheinen sich mir nachstehende Folgerungen zu ergeben:

Wenn die Feuerkugeln sich im Weltenraum und nicht in der Erd-Atmosphäre bewegten, so würden ihre Schweife nicht unbewegt bleiben, sondern im Allgemeinen an der Bewegung der Kugeln theilnehmen, ganz wie die Kometenschweife Theil nehmen an der Bewegung der Kerne. Ich begreife nicht, wie die von ihrem Kern verlassenen oder ausgesandten materiellen Theilchen im absoluten Raume unbewegt bleiben sollten, wenn nicht ein widerstehendes Mittel da wäre, welches sie anhielte. Dieses Mittel ist die Atmosphäre, und alle Phänomene der Art, von denen ich Zeuge war, haben in mir, ich gestehe es, die Ueberzeugung hinterlassen, daß sie nicht vorgingen im leeren Raum, wo sie den Kepler'schen Gesetzen gehorchen würden, sondern in den oberen Luftschichten, deren Dichtigkeit und Widerstand uns unbekannt sind.

Sind diese Betrachtungen richtig, so folgt, daß jede Feuerkugel, die einen verweilenden Lichtschweif hinterläßt, sich in der Atmosphäre bewegt. Hr. Petit freilich hat für die Feuerkugeln, deren Bahn er berechnete, eine weit über die wahrscheinliche Gränze der Atmosphäre hinausgehende Höhe gefunden; allein dieser Widerspruch rührt, irre ich nicht, von den seiner Rechnung zum Grunde gelegten Hypothesen her oder auch von der Art, wie er die beobachteten Thatsachen ausgelegt hat.